

TEKNILLINEN KORKEAKOULU

Elektroniikan, tietoliikenteen ja automaation tiedekunta
Sähkötekniikan laitos

Ville Saarinen

**JUNAN KONTAKTIHILIIEN KUNNON VALVONTA
VIRROITTIMEN VALOKUVAUKSEEN PERUSTUVALLA
LAITTEISTOLLA**

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi diplomi-insinöörin tutkintoa varten.

Espoo 29.9.2009

Työn valvoja Professori Jorma Luomi

Työn ohjaajat Diplomi-insinööri Seppo Mäkitupa

Tekniikan lisensiaatti Panu Sainio

Tekijä:	Ville Saarinen		
Työn nimi:	Junan kontaktihiilien kunnon valvonta virroittimen valokuvaukseen perustuvalla laitteistolla		
Päivämäärä:	29.9.2009	Sivumäärä:	9 + 75
Tiedekunta:	Elektroniikan, tietoliikenteen ja automaation tiedekunta		
Laitos:	Sähkötekniikan laitos		
Professori:	S-81 Sähkökäytöt		
Työn valvoja:	Professori Jorma Luomi		
Työn ohjaajat:	Diplomi-insinööri Seppo Mäkitupa, Tekniikan lisensiaatti Panu Sainio		
<p>Työssä tutkitaan valokuvaukseen perustuvan laitteiston sopivuutta sähkövetokaluston virroittimen kontaktihiilien kunnon valvontaan.</p> <p>Virroittimen kunnon valvontaan tarkoitettu kameralaitteisto on radanpitäjän rautatieoperaattoreille tarjoama palvelu, joka on tarkoitettu vähentämään ajolankavaurion riskiä. Laitteisto kuvaa ohikulkevan junan virroittimen ja analysoi sen kontaktihiilien kunnon. Laitteiston ottamia kuvia on mahdollista analysoida myös manuaalisesti.</p> <p>Tässä diplomityössä tehdään kirjallisuuskatsaus sähköistetyn rautatien osa-alueisiin, kuten ratajohdon rakenteeseen, sähkövetokaluston virroittimiin ja niiden kontaktihiilien kulumismekanismien tutkimiseen. Kirjallisessa osuudessa esitellään myös muita menetelmiä ajolankavaurioiden vähentämiseksi ja kuvataan Sensys Traffic Ab:n valmistaman APMS-laitteiston (Automatic Pantograph Monitoring System) toimintaa laitteiston valmistajan toimittaman materiaalin perusteella.</p> <p>Työssä tehdyn tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että laitteisto ottaa ohikulkevien junien ja vetureiden virroittimista selkeitä kuvia. Koekäytön aikana saadun otoksen perusteella kuvaamatta jäävien virroittimien määrä on pieni.</p> <p>Koekäytön aikana havaittiin liian ohuita virroittimen kontaktihiiliä, jotka edellyttivät vaihtoa ja yksi pahoin vaurioitunut virroitin. Operaattoriin otettiin yhteys useamman kerran laitteiston ottamien kuvien perusteella. Osa yhteydenotoista johti virroittimen kontaktihiilien vaihtoon. Kaikki havainnot tehtiin käymällä kuvia läpi manuaalisesti.</p>			
Avainsanat: Juna, veturi, virroitin, kontaktihiili, kunnonvalvonta, ajolanka.			

Author:	Ville Saarinen
Name of the Thesis:	Photography based pantograph condition monitoring
Date:	29.9.2009
	Number of pages: 9 + 75
Faculty:	Electronics, Communications and Automation
Department:	Department of Electrical Engineering
Professorship:	S-81 Electric Drives
Supervisor:	Professor Jorma Luomi
Instructors:	M.Sc. (Eng.) Seppo Mäkitupa, Licentiate in Technology Panu Sainio
<p>This thesis studies photography based equipment meant for pantograph coal condition monitoring.</p> <p>A camera system for pantograph condition monitoring is a service provided for the train operators by the infrastructure manager. The system is meant to aid in reducing the risk of overhead catenary line damage. The system takes a picture of the passing train's pantograph and analyzes its carbon strip's condition. The pictures can also be analyzed manually.</p> <p>This thesis reviews various aspects of electrified railways, including the overhead catenary structure of electrified railways in Finland and different applications regarding the catenary/pantograph interface condition monitoring. The operation of the APMS (Automatic Pantograph Monitoring System) unit is also reviewed based on material provided by the manufacturer. The empirical part is based on the evaluation of the APMS unit's performance.</p> <p>Based on the study done in this thesis, it can be said that the APMS unit takes clear pictures of the passing pantographs. The results indicate that the amount of pantographs not pictured is low.</p> <p>During the test period, several too thin pantograph coals were detected as well as one severely damaged coal. The train operator was contacted several times during the test period due to pictures taken with the APMS unit, some of which led to pantograph coal changing. All the notifications were done based on the manual checking of the pictures.</p> <p>In conclusion, it is recommended that more equipment dedicated to reducing catenary/pantograph faults should be installed both on the track and onboard the trains.</p>	
Keywords: Train, locomotive, pantograph, contact strip, contact coal, condition monitoring, catenary.	

ALKULAUSE

Tämä työ tehtiin Koneenrakennustekniikan laitoksella Ajoneuvotekniikan tutkimusyksikössä Ratahallintokeskuksen tilauksesta.

Työn valvojana on toiminut professori Jorma Luomi Sähkötekniikan laitoksen Sähkökäyttöjen tutkimusryhmästä. Häntä haluan kiittää tämän diplomityön eteen tehdystä työstä niin kieliopin kuin asiasisällön osalta. Professori Luomin tapa vaatia kuukausittain uutta luettavaa antoi työn tekemiselle rungon, jonka ympärillä tehdä työtä määrätietoisesti.

Työn ohjaajana Otaniemessä toimi tekniikan lisensiaatti Panu Sainio. Panua haluan kiittää loistavan työilmapiirin luomisesta ja työstä saamastani palautteesta.

Ratahallintokeskuksesta työtäni ohjasi diplomi-insinööri Seppo Mäkitupa. Sepolle kuuluu suuri kiitos työni asiasisällöllisen oikeellisuuden tarkastamisesta ja työn mahdollistamisesta.

Ratahallintokeskuksen henkilöstöstä haluan kiittää vielä erityisesti ylitarkastaja Seppo Mikkosta, joka on auttanut minua diplomityössäni ja uuden ammattini käytännön perehdyttämisessä.

Varjakanvalkaman väelle kuuluu luonnollisesti kiitokset opiskeluni tukemisesta ja joustavien työolosuhteiden luomisesta opiskeluni viimeisinä vuosina. Tuki jokapäiväisen elämän osalta on ollut korvaamatonta.

Koivusen säätiö tuki työtäni taloudellisesti. Siitä kiitos heille.

Ystäviäni haluan kiittää monesta opiskelun aikana vietetystä hienosta hetkestä.

Helsingissä 29.9.2009

Ville Saarinen

SISÄLLYSLUETTELO

ALKULAUSE	iv
SYMBOLILUETTELO.....	vii
TERMIT JA KÄSITTEET	viii
1 JOHDANTO	1
2 SÄHKÖRADAN RAKENNE.....	3
2.1 Imu- ja säästömuuntajat	4
2.2 Kannatinlanka	6
2.3 Ajolanka.....	7
2.4 Ratajohdon jakaminen sähköisiin ryhmiin	10
2.5 Raidevirtapiiri ja akselinlaskin	13
3 RAUTATIEALAN SÄÄDÖKSET	17
4 SÄHKÖVETOKALUSTON VIRROITTIMET	18
4.1 Virroitin	20
4.2 Virroittimen testaaminen	24
4.3 Automatic Dropping Device (ADD)	25
4.4 Virroittimen hinta	29
5 KONTAKTIHIILEN JA AJOLANGAN KULUMINEN	31
5.1 Europac-projekti	31
5.2 Ajolangan ja kontaktihiilen kulumisen tutkiminen.....	33
5.3 Vaurioitunut ajolanka	34
5.4 Virrankulun testaus kontaktihiilen ja ajolangan välillä	34
5.5 Virroittimen kontaktihiilen valokaaresta aiheutuva kuluminen	35
5.6 Virroittimen ja ajolangan vikatilasto vuonna 2007	39
5.7 Ajolangan jäätyminen.....	40
6 VALOKUVAUSLAITTEISTO	41
6.1 Tutka	41
6.2 Kamera ja virroittimen paikallistaminen kuvasta	44

6.3	Tietoliikenne ja virranotto	47
6.4	APMS-laitteiston asennus.....	48
6.5	Kaapelointi sähköradan läheisyydessä	49
6.6	Tulevien virroitinvalvontalaitteistojen asennus	52
6.7	Asennuspaikan valinta	53
6.8	Laitteiston osumatarkkuus	55
7	TULOSTEN ANALYSOINTI.....	57
7.1	Onnistuneiden kuvien määrä kaikista otetuista kuvista.....	57
7.2	Laitteiston ottamien kuvien vertaaminen toteutuneisiin aikatauluihin.....	60
8	JOHTOPÄÄTÖKSET	63
9	JATKOKEHITYSKOhteita.....	65
10	LIITTEET	67
10.1	Liite 1	67
10.2	Liite 2	68
10.3	Liite 3	69
10.4	Liite 4	70
10.5	Liite 5	71
11	Lähdeluettelo	72

SYMBOLILUETTELO

c	valon nopeus
f	taajuus
g	normaalikiikhtyvyys
I	virta
V	jännite

TERMIT JA KÄSITTEET

Alarunko (virroittimen)

Virroittimen kiinteä osa, joka on asennettu eristimien välityksellä sähköjunan tai -veturin katolle.

APMS-järjestelmä

Junan kontaktihiilien kuntoa valokuvan perusteella arvioiva järjestelmä.

Erotuskenttä

Kiristyskenttä, jossa ajojohtimen jännite voi vaihtua erivaiheiseksi kahden eri johtimen välillä. Molemmat johtimet ovat eri kytkentäryhmissä. Varustettu siirtymäjänteellä.

Erotusväli

Erotuskentän tai ryhmityseristimen ilmaväli, joka on kahden eri sähköisen ryhmän rajana.

Kiristyskenttä

Alue, jossa peräkkäisten rataosien ajojohtimet on viety kiristyspylväille siten, että alta kulkeva virroitin koskett^{aa} koko ajan toista ajojohdinta.

Kelkka (virroittimen)

Virroittimen osa, joka on rungon tukema. Yleensä kelmassa on kaksi erillistä yläkaarta. Osa voi olla myös jousitettu.

Kelkan leveys

Kelkan mitta, joka mitataan horisontaalisesti, poikittain junan kulkusuuntaan nähden.

Kelkan korkeus

Vertikaalisesti mitattava etäisyys sarvien alakohdista kontaktihiilen korkeimpaan kohtaan.

Kelkan pituus

Yläosan mitta, joka mitataan pitkittäin kulkuneuvoon nähden

Kontaktihiili

Virroittimen yläosassa sijaitseva hiililiuska, joka on ajolankaan yhteydessä.

Käyttöjärjestelmä

Laite, joka tarjoaa voiman virroittimen nostamiseen tai laskemiseen.

Liukuhiili

Ks. kontaktihiili.

Kontaktihiilen pituus

Kontaktihiilen kokonaispituus mitattuna kohtisuorasti junan kulkusuuntaan nähden.

Runko (virroittimen)

Nivelletty rakenne, joka sallii virroittimen yläosan liikkumisen vertikaalisesti alarunkoon nähden.

Sarvet

Virroittimen yläkaaren päädyssä olevat kaarevat rakenteet, jotka takaavat virroittimen sujuvan siirtymisen ajolangalta toiselle. APMS-järjestelmä käyttää näitä osia virroitinvikojen havainnoinnin apuna.

Virroitin

Laite, jolla sähköveturi tai -juna ottaa virran ajolangasta. Se koostuu alarungosta, rungosta, käyttöjärjestelmästä ja virroittimen kelkasta. Käyttötilassa virroitin on osittain tai kokonaan jännitteinen.

Yläkaari (virroittimen)

Yläkaareen kuuluu kontaktihiili ja sarvet.

1 JOHDANTO

Sähköveturi ottaa tarvitsemansa tehon virroittimen kautta. Virroitin on junan yläpuolinen osa, joka muodostaa virroittimen yläpinnalla olevan kontaktihiilen kautta yhteyden ajolankaan. Tasainen virran kulku ajolangasta sähköveturin moottoreille on olennainen osa sujuvaa rautatieliikennettä. Ehjä virroitin on ehdottoman tärkeä osa tätä yhtälöä.

Ajon aikana rikkoutunut virroitin aiheuttaa vakavan riskin myös ajolangan rikkoutumiselle. Ajolangan korjaaminen jo itsessään on kallis operaatio. Kun tähän lisätään rautatieliikenteen myöhästymisistä aiheutuvat kulut, on selvää, että ajolankavaurioita tulee pyrkiä välttämään mahdollisimman tehokkaasti. Lisäksi jännitteinen, mahdollisesti maahan osuva ajolanka aiheuttaa vakavan turvallisuusriskin.

Ratahallintokeskus (RHK) on ottanut koekäyttöön laitteiston, joka valmistajan mukaan pystyy havaitsemaan junan virroittimen kontaktihiilien vaurioita. Laitteisto on ruotsalaisen Sensys Traffic Ab:n valmistama. Sen kauppanimi on Automatic Pantograph Monitoring System, josta käytetään lyhennettä APMS.

Vaurioiden havaitseminen perustuu virroittimesta otetun valokuvan analysointiin. Ennen päätöstä useamman tällaisen laitteiston hankinnasta on syytä kartoittaa laitteiston toimivuutta käytännön olosuhteissa. Suomen vaihtelevat vuodenaajat räntä- ja lumisateineen sekä muuttuvine valaistusolosuhteineen asettavat omat perustellut kysymyksensä valokuvaukseen perustuvan järjestelmän riittävästä toimivuudesta.

Järjestelmä, joka pystyy varoittamaan ennakkoon vakavan ajolankavaurion riskistä, hyödyttää sekä radanpitäjää että liikennöitsijöitä. Ruotsissa, jossa on useampia liikennöitsijöitä kuin Suomessa, järjestelmällä on onnistuttu vähentämään vakavia ajolankavaurioita. Suomessa ensimmäinen laite on asennettu testikäyttöön Liminkaan hieman Oulun eteläpuolelle, jotta laitteiston toimivuutta päästään testaamaan myös talvisissa olosuhteissa ennen päätöstä useamman laitteiston hankinnasta.

Modernin sähkövetokaluston virroitin on varustettu ADD:llä eli vaurioituneen virroittimen hätälaskujärjestelmällä. ADD tulee sanoista Automatic Dropping Device. On epäselvää, voiko ADD:llä varustettu virroitin vaurioitua siten, että myös ajolanka vaurioituu johtuen ADD:n toimimattomuudesta. Laitteiston koekäytön aikana pyritään saamaan vastaus tähän kysymykseen.

Tämän diplomityön tavoitteena on selvittää, täyttääkö laitteiston tekninen toimivuus sille asetetut ennakko-odotukset. Työn tilaaja haluaa saada käsityksen siitä, ottaako laitteisto onnistuneita valokuvia virroittimista valmistajan lupaamalla prosenttiosuudella kaikista otetuista valokuvista.

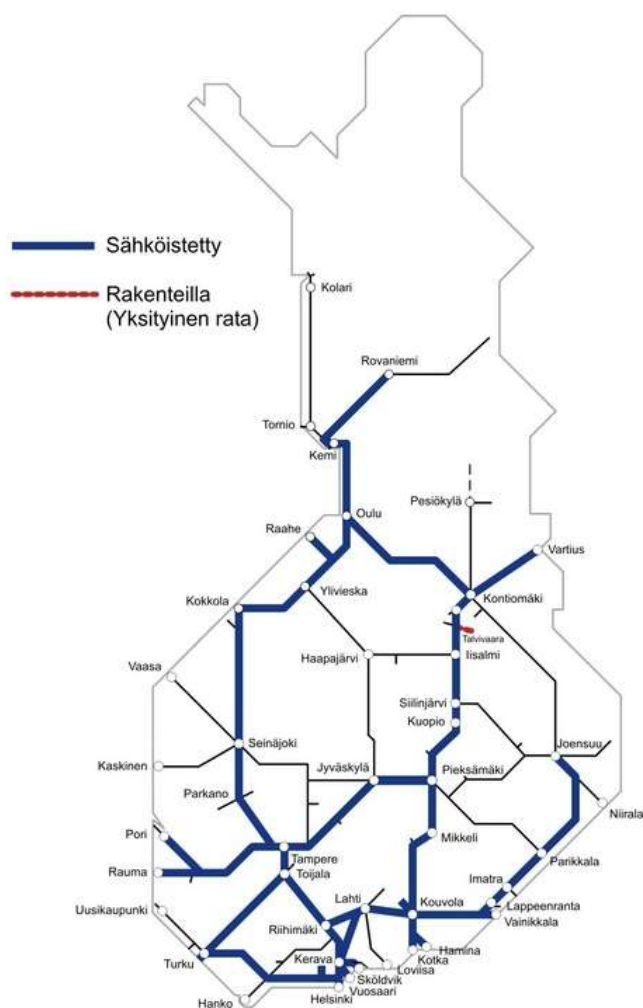
Työssä pyritään myös miettimään mahdollisten tulevien laitteiden sijoituspaikkoja Suomen rataverkolla. Toimintatapa, jolla laitteen antamiin hälytyksiin reagoidaan, kuuluu myös asioihin, joihin työssä otetaan kantaa. Toimintatavan hahmottaminen pohjautuu osittain Ruotsista saatujen kokemusten soveltamiseen.

Koekäytön aikana pyritään selvittämään tarkkuus, jolla laitteisto ottaa käyttökelpoisia valokuvia virroittimista. Käyttökelpoisella kuvalla tarkoitetaan kuvaa, jossa virroitin on terävästi kuva-alassa. Toinen työssä tutkittava asia on tarkkuus, jolla järjestelmä analysoi kuvia oikein. Liian herkkä hälytyksen antaminen kuormittaa liikenteenohjauskeskusta turhaan. Vastaavasti liian matala nostaa ajolankavaurion riskiä.

Työn alkuosassa esitellään sähköistetyin rautatien rakennetta ja Suomessa liikennöintiin käytettävää vetokalustoa, painottuen virroittimiin. Valokuvauslaitteiston esittelylle on varattu oma lukunsa. Työssä tehdään myös katsaus muihin ajolangan kunnan tarkkailuun liittyviin projekteihin. Työn loppuosa käsittää tulosten analysoinnin ja johtopäätösten ja jatkokehityskohteiden esittämisen.

2 SÄHKÖRADAN RAKENNE

Ratahallintokeskus tarjoaa tietoa kattavasti koskien Suomen rataverkkoa (Ratahallintokeskus 2008). Suomessa on liikennöityä rataverkkoa 5 919 km, josta 3 067 km on sähköistetty. Kuvassa 1 on esitetty rataverkon sähköistyksen tilanne 31.12.2008. Henkilöjunien suurin sallittu nopeus on 220 km/h, tavarajunien 120 km/h. Oulun ja Ylivieskan välinen rataosuus, jolla sijaitsevaan Liminkaan on asennettu Suomen ensimmäinen APMS-laitteisto, on 140 km/h nopeusalue. Suurimmalla osalla rataverkkoa sallitaan 22,5 tonnin akselipaino. Radan kunnossapitoon käytetään vuosittain noin 135 miljoonaa euroa.



Kuva 1: Rataverkon sähköistys 31.12.2008 (Ratahallintokeskus 2009a).

Ratahallintokeskuksen julkaisun ”Ratatekniset määräykset ja ohjeet” osassa ”Sähköistetty rata” on esitetty Suomen rautateiden sähköistämisen perusteet (Ratahallintokeskus 2005). Suomen rataverkolla on käytössä yksivaiheinen 50 Hz:n taajuudella ja 25 kV:n jännitteellä toimiva sähköistysjärjestelmä sekä 2×25 kV:n järjestelmä. Kantaverkon 110 kV:n jännite muutetaan syöttöasemilla 25 kV:n jännitteeseen ja syötetään ajojohtimeen. Syöttöasema siis antaa sähkövetokaluston tarvitseman tehon. Virta siirtyy ajojohtimesta virroitinta pitkin sähkövetokaluston sähkömoottoreille ja edelleen kiskoihin. Paluuvirta vedetään imumuuntajan kautta paluujohtimeen ja edelleen takaisin syöttöasemalle.

2×25 kV:n järjestelmässä syötetään lisäksi vastajohtimeen -25 kV:n ja 50 Hz:n yksivaiheinen jännite. Tässä järjestelmässä paluuvirta vedetään säästömuuntajan kautta vastajohtimelle.

Tehon syöttö ajojohtimeen tapahtuu 25 kV:n järjestelmässä 35–50 km:n välein olevilta syöttöasemilta. Uudemmassa 2×25 kV:n järjestelmässä syöttöasemaväli voi olla 90 km. Radan sähköisen suojauksen ja käyttöominaisuuksien parantamiseksi kunkin syöttöasemavälin puolessa välissä voi sijaita välikytkinasema tai kauko-ohjattava erotin.

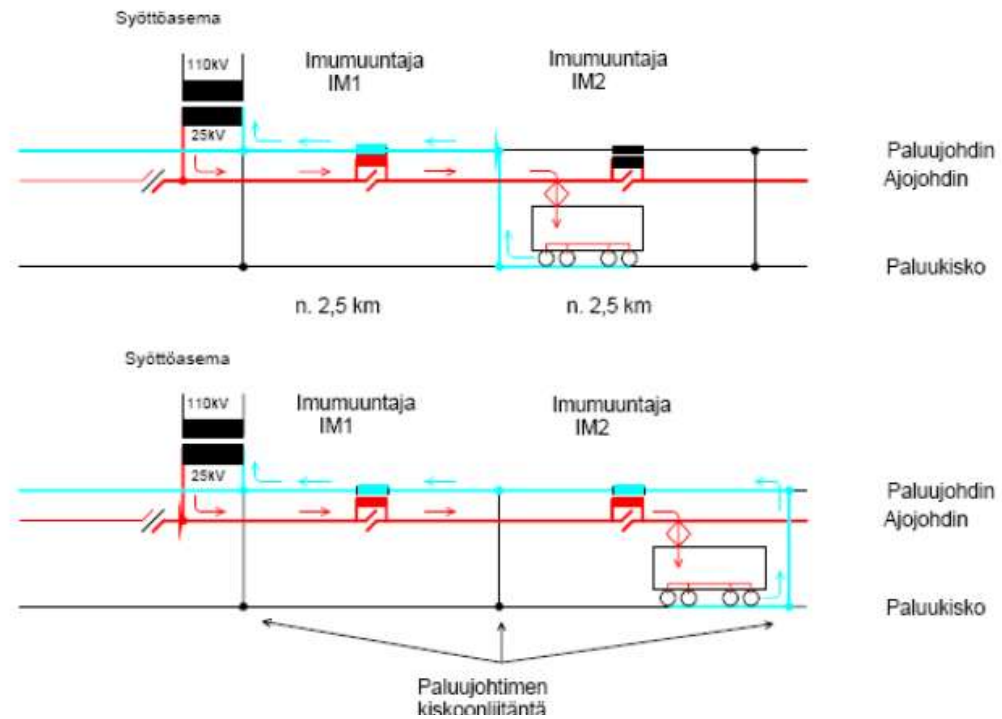
Jotta välttyttäisiin sähkörataverkosta aiheutuvilta vaarallisilta ja raja-arvot ylittäviltä jännitearvoilta sähköradan läheisyydessä, tulee ratajohto varustaa yleensä imumuuntajalla ja paluujohtimella tai säästömuuntajilla ja vastajohtimella. Tähän vaikuttaa Suomen huonosti sähköä johtava maaperä.

2.1 Imu- ja säästömuuntajat

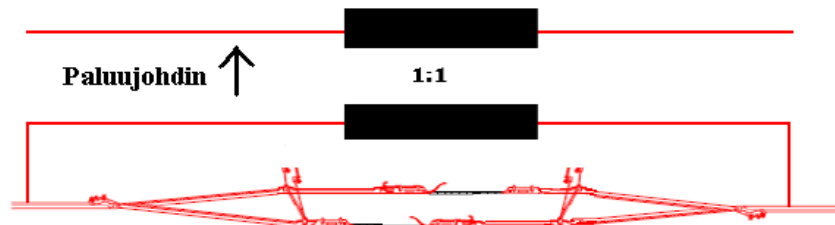
Imumuuntajan tarkoituksena on vähentää paluuvirrasta aiheutuvia häiriöitä. Imumuuntajan ensiöpuoli on sarjassa ajojohtimen kanssa. Imumuuntajan toisiopuoli, joka on sarjassa paluujohtimen kanssa, pakottaa kiskossa kulkevan paluuvirran paluujohtimeen. Normaalisti paluujohdin muodostuu kahdesta osajohtimesta. Johtimien tulee sijaita korkeammalla kuin ajojohdin ja olla vähintään 80 cm:n päässä toisistaan.

Kuvassa 2 on esitetty imumuuntajan toimintaperiaate. Paluujohtimen kiskoonliitännän tulee tapahtua enintään 1,3 km:n päässä imumuuntajasta.

Imumuuntajat tulee sijoittaa siten, että niiden kohdalle pystytään tekemään erotusväli. Käytännössä tämä tarkoittaa erotuskenttää tai ryhmyseristintä. Syy näiden rakenteiden käytölle on se, että yhtenäinen ajolanka oikosulkisi muuntajan. Kaavakuva tilanteesta on esitetty kuvassa 3.



Kuva 2: Imumuuntajan toimintaperiaate (Ratahallintokeskus 2006).



Kuva 3: Periaatekuva ajolangan kulkemisesta imumuuntajan ohitse. Todellisuudessa imumuuntaja on asennettu radan varressa olevaan pylvääseen ja kytkentä ajo- ja paluujohtimiin tapahtuu kaapelien välityksellä.

Kuvassa 3 punaisella merkitty on samassa vaiheessa olevaa jännitettä. Junan virroitin ottaa koko ajan tehoa kulkiessaan imumuuntajan alitse, mikä aiheuttaa hetkellisen oikosulun. Tämän johdosta sähkövetokaluston pysäyttäminen imumuuntajan kohdalle on kiellettyä. Lisäksi imumuuntajien sijoittelun tulee olla sellainen, ettei niiden kohdalle tarvitse missään tilanteessa pysähtyä.

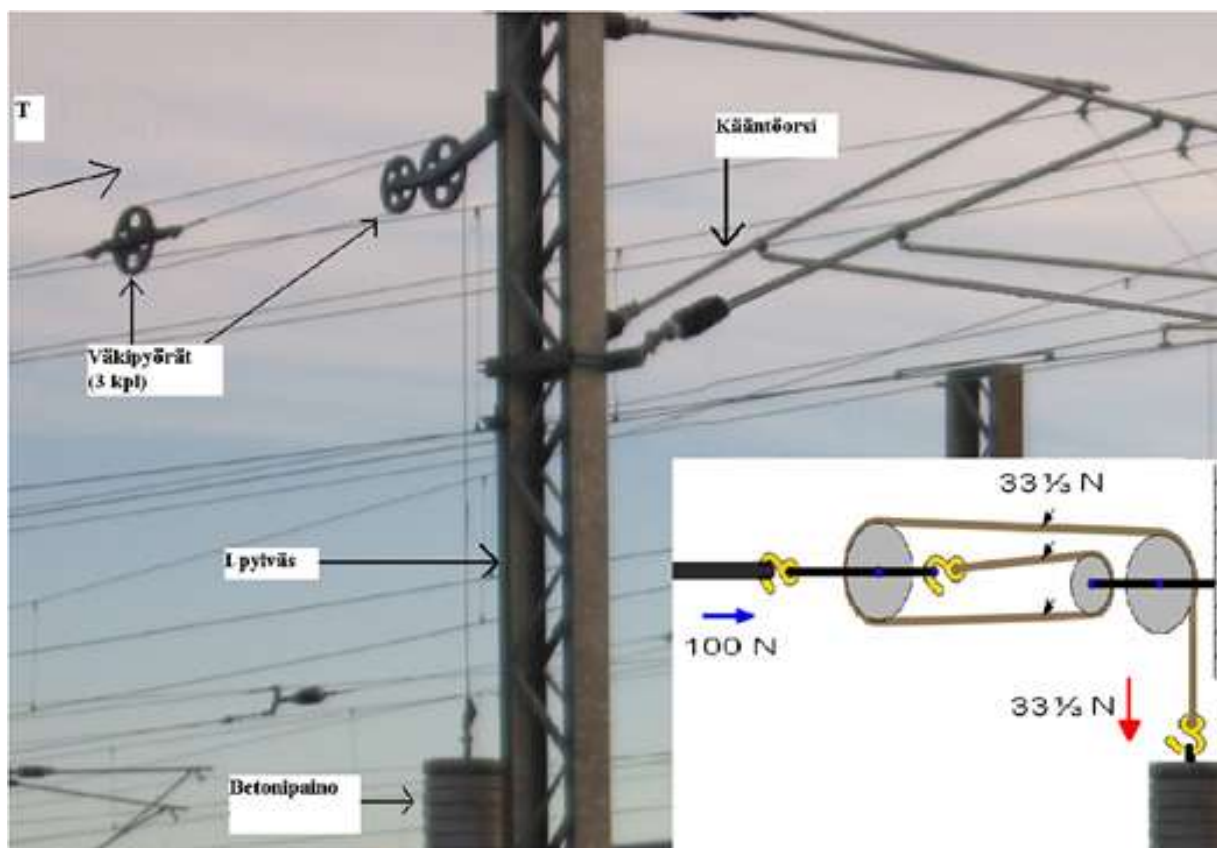
Imumuuntajavälin tulee olla alle 2,6 km, jotta vaara- ja häiriöjännitteet eivät pääsisi muodostumaan liian suuriksi. Joillakin rataosuuksilla imumuuntajat voidaan jättää kuitenkin pois. Tämä edellyttää, että paluuvirtojen aiheuttamat haitat jäävät riittävän pieniksi. Paluuvirtojen mahdollisia haittoja ovat vuotaminen paluukiskosta metalliputkistoihin, siltoihin tai tietoliikennekaapeleihin (ABB).

2 × 25 kV:n järjestelmässä imumuuntajat on korvattu säästömuuntajilla. Näiden sijoitteluväli voi olla pidempi, jopa 7 km. Säästömuuntajien sijoittamisessa tulee huomioida, ettei niiden asettelusta tasoristeysten yms. yhteyteen aiheudu vaarallisia näkemäesteitä.

2.2 Kannatinlanka

Kannatinlanka on ajolangan yläpuolella kulkeva lanka, joka tukee ripustimien välityksellä ajolankaa. Sekä kannatin että ripustimet ovat jännitteisiä. Kannatinlanka pidetään vakioireydessä kiristyskenttien avulla. Kiristyskenttien 660 kg:n betonipainot on kytketty väkipyörästäön kautta kannatinlankaan. Lämpötilan mukaan muuttuva kannatinlangan pituus ei vaikuta voimaan, jolla kannatinlankaa vedetään, vaan se on aina vakio. Kuvassa 4 on esitettyä Ilmalan varikolla kuvattu kiristyskenttä. Pienemmästä osakuvasta voidaan havaita, että väkipyörästäön kautta kannattimeen kiinnitetty massa aiheuttaa kolminkertaisen vedon ratajohtoon. Vedon määrä vaihtelee ratajohtotyypeittäin. Liitteessä 1 on esitetty Limingassa, Oulun lähetyvillä kuvattu kiristyskenttä.

Ripustimet voidaan suunnitella joko mekaanista kestävyyttä tai sähkönjohtavuutta silmällä pitäen. On myös olemassa toteutuksia, joissa ripustimet toimivat vain mekaanisena tukena ajolangalle. Tällöin kannatinlanka ja ajolanka tulee kytkeä toisiinsa hyppylangoilla. On kuitenkin suotavaa käyttää ripustimia, jotka ovat mahdollisimman hyvin sähköisesti johtavia.



Kuva 4: Ilmalan varikolla kuvattu I-pylväs, joka toimii kiristyskentän päätepisteenä. Pienemmässä osakuvassa on esitetty voimien jakautuminen väkipyörästä.

Lämpötilan muutoksesta aiheutuva kannatinlangan pituuden muutos tulee kompensoida. Kannatin on tuettu I-pylväissä kiinni olevien kääntöorsien kautta. Kääntöorret, nimensä mukaisesti, kääntyvät radan suuntaisesti riippuen siitä, pieneneekö vai kasvaako kannatinlangan pituus. Tämä aiheuttaa jonkin verran ajolangan siirtymistä radan keskilinjan suhteen.

2.3 Ajolanka

Ajolanka on kovaksi vedettyä elektrolyyttikuparia. Sen vaatimukset on määritelty standardissa EN 50149. Ajolangan poikkipinta-ala on 100 mm^2 pääraiteella, sivuraiteella voidaan käyttää myös 80 mm^2 ajolankaa. Ajolangan ominaisuuksia on esitetty Liikkuvan kaluston sähkömäärysten osassa 2.8 (Ratahallintokeskus 2003).

Ajolangan suurin sallittu korkeus kiskon selästä on 6,60 m ja pienin 5,60 m. Normaali ripustuskorkeus on 6,15 m. Kunnostustoleranssiksi on määritelty yleensä 0,05 m

alaspäin normaaliarvosta ja 0,30 m ylöspäin. Tunnelit ja sillat ovat yleensä rakenteita, joiden yhteydessä tarvitaan normaalia matalampaa ripustuskorkeutta.

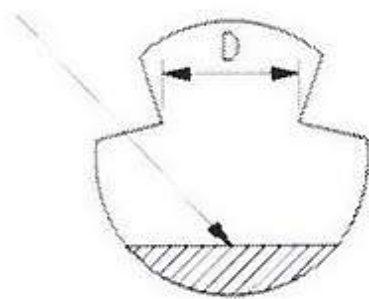
Ajolanka on tuettu rautatieympäristössä kannatinlangalla. Kannatinlangalla saavutetaan parempi ajolangan profiili. Ajolangan ideaalinen profiili on horisontaalisesti täysin suora. Tämä profiili takaa virroittimen mahdollisimman pienen vertikaalisen liikkeen. Kannatinlanka välittää osan sähkövetokaluston vaatimasta virrasta.

Suomessa ongelmia ratajohdolle aiheuttaa värähtely ajettaessa kahdella virroittimella (Argillander ym. 2001). Värähtelevä ajolanka aiheuttaa virroittimen kontaktivoiman muutoksia, koska virroitin voi saapua ikään kuin valmiiksi ylhäällä olevaan lankaan, eli aallon harjakohtaan. Tällaisen kohdan osuessa ajolangan ohjaimen kohdalle voi tuloksena olla ohjaimen ylöspäin olevan nousuvaran loppuminen. Virroitin kohtaa ikään kuin jäykän ”katon”. Liian pieni kontaktivoima puolestaan heikentää virranoton laatua.

Ajolangan mekaanista ja kulumisen kestävyyttä voidaan parantaa seostamalla kuparia kadmiumilla. Tämä tosin huonontaa ajolangan johtavuutta. Ympäristönäkökulmien painoarvon lisääntyessä on tinan käytöstä seosaineena tullut vaihtoehto kadmiumille. Tina tarjoaa hyvin samanlaiset ominaisuudet seosaineena kuin kadmium (Gabbott 2007). Suomessa ongelmia aiheuttanut CuT-70-nimellä kulkeva kannatinlanka on valmistettu ilman kadmiumia. Kadmiumin poistamisen uskotaan olevan yksi syy kyseisen kannatinlangan heikkoon laatuun.

Ajolangan profiili on kuvassa 5 esitetyn kaltainen. Profiili mahdollistaa ajolangan kiinnittämisen kääntöorteen siten, että virroittimen kulku ei häiriinny. Kiinnittäminen tapahtuu ajolangan reunoilla olevia uria hyväksi käyttäen. Ajolangan tarkemmat mitat on esitetty liitteessä 2.

Kulumisvara



Tyypillinen ajolangan profiili



Kuva 5: Vasemmalla ajolangan poikkileikkaus. Keskellä kulunut ajolanka, oikealla uusi ajolanka.

Ajolankaa pystytään jatkamaan. Jatkaminen tapahtuu kuvassa 6 esitetyllä tavalla. Kuvasta tulee ilmi kiinnitysmekanismin periaate. Kahden eri ajolangan päät liu'utetaan jatkokappaleen sisälle, ja kappaleen reunoilla olevat pultit kiristetään.

Ajojohdinjanteen pituuden tulee normaalisti olla välillä 65–70 m johtuen tuuli- ja jääkuormien aiheuttamista rajoituksista. Ajolangan poikkeama keskilinjastaan poikittaistuulesta johtuen on suurimmillaan ajolangan janteen keskellä. Mitoitusarvona käytetään tuulenpainetta 350 N/m^2 . Tällöin suurin sallittu poikkeama keskilinjasta on 0,46 m.

Ajolanka asennetaan siksak-kuvion muotoon. Tällä pyritään virroittimen hiilen tasaiseen kulumiseen. Suomessa tavataan siksakkia, jonka leveys on 40 cm vanhoissa asennuksissa ja uudemmissa 30 cm. Kuvassa 7 on esitettyä ajossa siksakin vaikutuksesta kulunut virroittimen hiili.



Kuva 6: Ajolangan jatkaminen. Molemmissa ajolangan pätkissä on vaurioita, joten tilanne ei vastaa todellista ajolankaa.



Kuva 7: Virroittimen yläkaaren kontaktihiili on kulunut keskeltä, ajolangan siksakin vaikutuksesta.

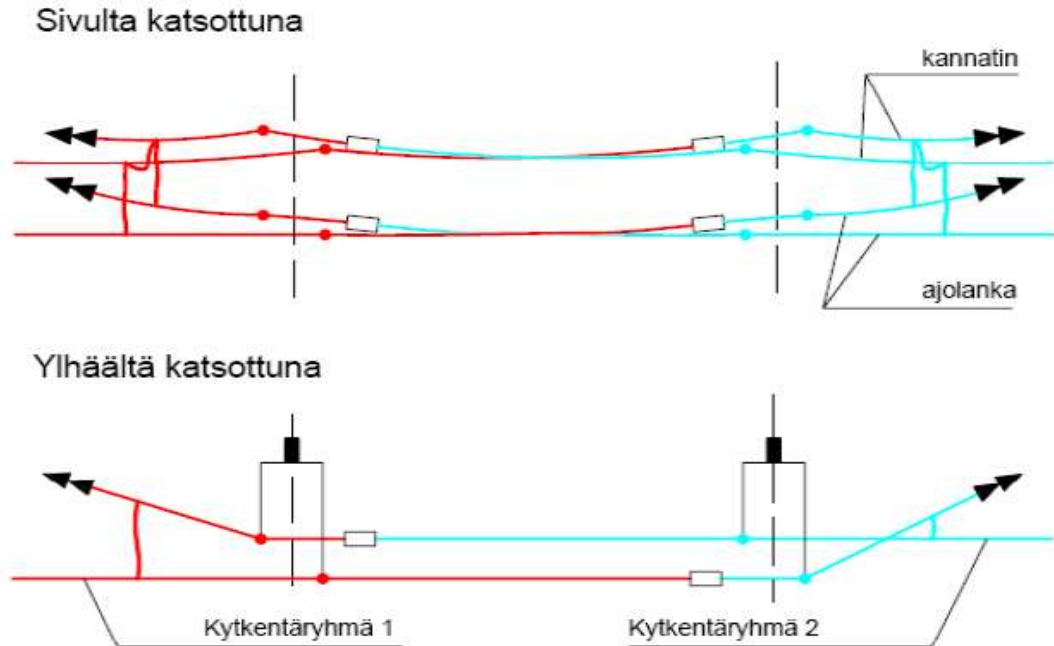
2.4 Ratajohdon jakaminen sähköisiin ryhmiin

Ryhmityseristin on rakenne, joka jakaa ajojohtimen kahteen eri sähköiseen ryhmään siten, että alta kulkeva virroitin voi ottaa koko ajan tehoa. Erotuskentällä on sama toimintaidea.

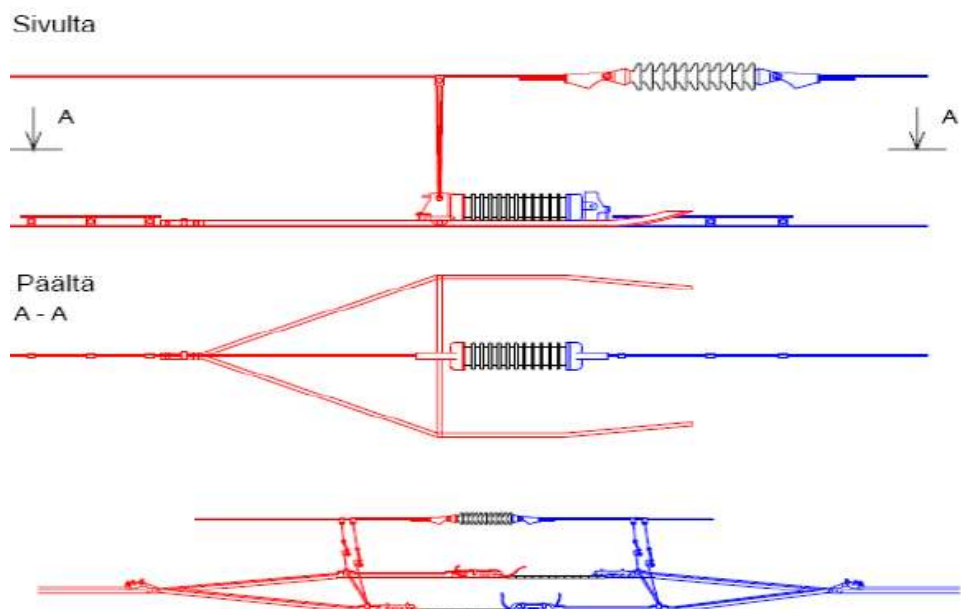
Ajolanka vaihtuu toiseen kiristyskentällä. Kiristyskentän I-pylväissä sijaitsevat painot, jotka pitävät ajo- ja tukilangan vakiovedossa. Virroittimen yläkaarien muoto varmistaa virroittimen siirtymisen sujuvasti ajolangalta toiselle. Mikäli kiristyskenttä on toteutettu siten, että kahden ajojohtimen väliin jää erotusväli, puhutaan erotuskentästä. Erotusväli on ajojohtimien väliin jäävä ilmaväli, joka takaa, että molemmat ajojohtimet ovat sähköisesti toisistaan erillään.

Lyhyillä matkoilla ajolangan tukeminen voidaan hoitaa kaasui- tai jousiperusteisilla järjestelmillä. Näiden järjestelmien etuna kiristyskenttiin pohjautuvaan järjestelmään on pieni tilan tarve. Erityisesti tästä on etua tunneleissa.

Kuvassa 8 on esitetty erotuskenttä ja kuvassa 9 kaksi erimallista ryhmityseristintä. Huomattavaa on, että virroitin on koko ajan kytkettynä johonkin kytkentäryhmään kaikissa tapauksissa. Kytkentäryhmällä tarkoitetaan kytkinlaitteiden, ryhmityseristimen tai erotusjakson rajaamaa ratajohdon virtapiirin metallisesti yhtenäistä osaa.



Kuva 8: Erotuskenttä (Ratahallintokeskus 2006).



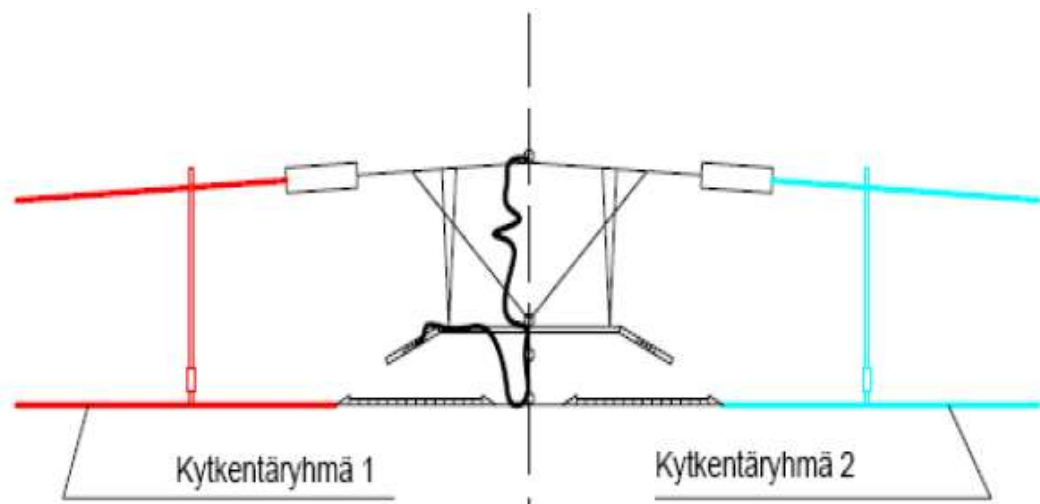
Kuva 9: Kaksi erimallista ryhmityseristintä. Ylhäällä on kuvattuna hitaasti ajettava ryhmityseristin (maksimi 50 km/h), alhaalla nopeasti (maksimi 160 km/h) (Ratahallintokeskus 2006).

Radan jakaminen sähköisesti erillisiin osiin on tarpeen huoltotöiden ja vikatapausten johdosta. Nämä osat tulee voida erottaa verkosta toisistaan riippumatta ja maadoittaa.

Kuvassa 8 esitetty erotuskenttä riittää yleensä radan jakamiseen sähköisiin ryhmiin avoradalla. Ratapihoilla ryhmittelyyn käytetään kuvan 9 kaltaisia ryhmityseristimiä. Ratapihoilla kytkentäryhmittely on tarpeen tavarankurkumisen ja kuormauksen takia.

Kuvassa 10 on esitetty erotusjakso. Erotusjakso mahdollistaa ajojohtimen eristämisen pituussuunnassa kahden vierekkäisen syöttöalueen rajalla. Kytkentäryhmät voivat olla eri vaiheissa. Ajojohtimien väliin jää maadoitettu alue, virroitin käy siis maapotentiaalissa kulkiessaan erotusjakson ali.

Junan pääkatkaisijan tulee olla auki-asennossa junan kulkiessa erotusjakson ali. Tämä taataan varustamalla sähkövetokalusto antureilla, jotka havaitsevat yleensä 27 m molemmin puolin erotusjaksonkeskipistettä sijaitsevat magneetit. Lähestyttäessä erotusjaksoa järjestelmä avaa pääkytkimen. Vastaavasti erotusjakson jälkeen pääkytkin sulkeutuu. Vaunujen akut eivät lataudu ohitettaessa erotusjaksoa. Tulevaisuudessa vaunut saatetaan varustaa superkondensaattoreilla, jotka lataavat akustoa erotusjakson kohdalla.



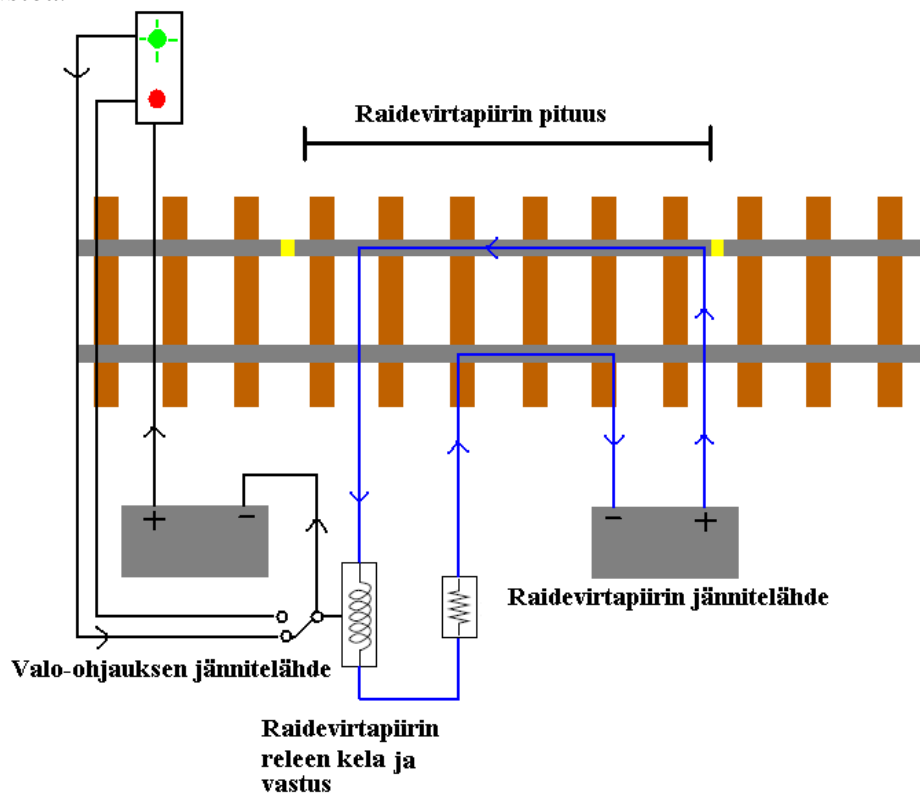
Kuva 10: Erotusjakso. Ajoalkojen kytkentäryhmät voivat olla eri vaiheissa (Ratahallintokeskus 2006).

2.5 Raidevirtapiiri ja akselinlaskin

Raidevirtapiirin tehtävänä on osoittaa liikenteenohjauskeskukselle ja muille junille, milloin raideosuus on varattu. Raidevirtapiirin jännitelähteen positiivinen napa kytketään toiseen kiskoon. Jännite on muutamia voltteja. Mikäli raidevirtapiirin kohdalla ei ole kalustoa, kyseisen osuuden rele vetää. Kytkeäntä on tehty siten, että releen vetäessä näkyy kyseinen osuus vapaana liikenteenohjauskeskukseen. Myös osuuden valo-ohjain on tällöin vihreä. Kuvassa 11 on esitetty periaatteellinen kuva kytkennästä.

Vetokaluston saapuessa osuudelle oikosulkee kaluston metallinen akseli kiskot yhteen. Tällöin rele päästää ja releen ohjaama valo-ohjain muuttuu punaiseksi. Samalla myös liikenteenohjauskeskus näkee kyseisen raideosuuden varattuna.

Tasavirran käytön perusteena raidevirtapiirissä on maailmalla pidetty uskomusta, jonka mukaan tasakomponenttia ei voi esiintyä vaihtosähköjärjestelmässä. Tämä on myöhemmin osoitettu vääräksi. Esimerkiksi virroittimen valokaaripurkaus aiheuttaa tasakomponentin (Midya & Surajit 2008). Tämä saattaa häiritä raidevirtapiirin toimintaa, aiheuttaen vakavimmillaan radan tulkitsemisen vapaaksi, vaikka osuudella on vetokalustoa.

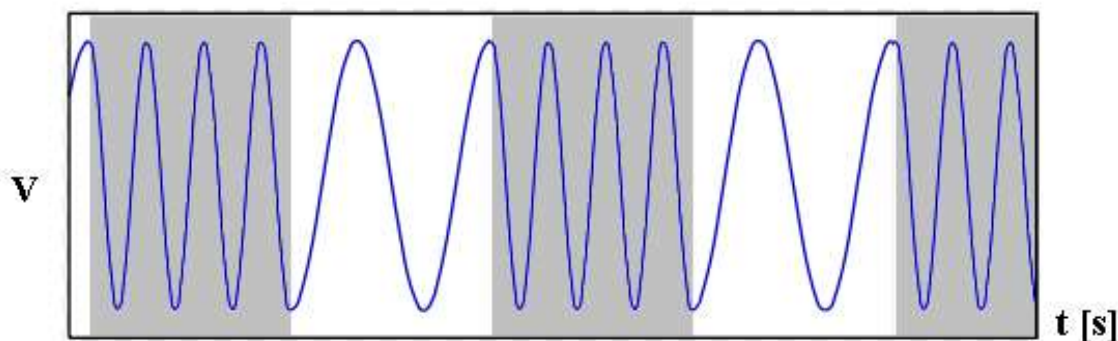


Kuva 11: Raidevirtapiiri. Kuvan tilanteessa rele vetää ja rataosuus tulkitaan vapaaksi.

Raidevirtapiiri voi toimia myös vaihtosähkön avulla. Tällöin vaihtojännite kytketään kiskoon rataosuuden toisessa päässä ja otetaan vastaan toisessa. Mikäli vastaanottopäässä ei havaita signaalia, johtuen junan akselien aiheuttamasta kiskojen oikosulusta, tulkitaan rataosuus varatuksi. Käytettävä lähetystaajuus vaihtelee maittain, mutta sen tulee erota sähkövetokaluston syöttötaajuudesta ja tämän parillisten yliaaltojen taajuudesta.

Turvallisuuden parantamiseksi raidevirtapiiriin syötettävä signaali voidaan taajuusmoduloida. Taajuusmoduloinnissa esimerkiksi sinimuotoisen signaalin taajuutta lasketaan ja kasvatetaan tietyin väliajoin. Mikäli vastaanotettu signaali eroaa odotetusta, tulkitaan raideosuus varatuksi onnettomuuksien välttämiseksi. Taajuusmodulointi parantaa raidevirtapiirin suojausta yliaaltojen aiheuttamia häiriöitä vastaan (Siemens AG).

Siemensin toimittamassa raidevirtapiirissä, mallinimeltään FTG S, signaalin moduloinnilla pystytään lähettämään tiettyä bittisarjaa, jonka tulee olla vastaanottopäässä sama kuin lähetyspäässä. Bittisarjalla tarkoitetaan ”ykkösten ja nollien jonoa”, joka sisältää ennalta sovitun viestin. Kuvassa 12 on esitetty taajuusmoduloitu sinimuotoinen signaali.



Kuva 12: Taajuusmoduloitu jännitesignaali ajan funktiona.

Signaalin taajuus on erisuuri harmaalla ja vaalealla alueella. Vastaanottaja tulkitsee harmaalla alueella olevan taajuuden arvoksi yksi ja vaalealla pohjalla olevan taajuuden arvoksi nolla. Vierekkäisten rataosuuksien raidevirtapiiriin syötettävän signaalin modulointi voidaan toteuttaa siten, että lähetettävä signaali, eli ”ykkösten ja nollien jono”, on erilainen molemmille raidevirtapiireille. Tämä tehdään mahdollisten rataosuuksien eristyksessä tapahtuvien häiriötapauksen seurausten minimoimiseksi.

Raidevirtapiiriin lisäksi rataosuuden vapaana oloa voidaan valvoa akselinlaskimilla. Vetokaluston akselit lasketaan radan keskelle kiskojen väliin asennetun laitteiston avulla. Laitteen ylitse kulkeva metallinen pyörän laippa muuttaa akselinlaskijan magneettivuon suuntaa. Akselit lasketaan rataosuudelle saapuvan kaluston kohdalla. Rataosuudelta poistuvan kaluston akselien määrän tulee olla yhtä suuri, jolloin rataosuus tulkitaan taas vapaaksi. Työskennellessä radalla tulee metallisten esineiden, kuten rautalapion tai suojakenkien, liikuttamista akselilaskimen läheisyydessä välttää virhetulkintojen välttämiseksi.

Akselinlaskimet ovat käytössä yleisesti Suomen rataverkolla. Yleisin raidevirtapiiri puolestaan on moduloimaton 125 Hz:n piiri.

Osassa modernia vetokalustoa on sähkömagneettiset jarrut. Jarrujen toiminta perustuu kalustosta lähelle kiskon selkää laskettavaan kesto- tai sähkömagneettiin. Näiden jarrujen on havaittu häiritsevän esimerkiksi akselinlaskimen toimintaa. Pendolinossa ja Ruotsissa liikennöivässä X2000-junassa niiden käyttö onkin rajattu hätätilanteisiin. Myös kiskoissa kulkeva paluuvirta saattaa häiritä akselinlaskimien toimintaa. Isossa-Britanniassa vuonna 1991 tapahtunut Severn-tunnelin onnettomuus saattoi johtua akselinlaskimen virheellisestä nollaantumisesta. Nollaantumisen syyksi tosin epäillään inhimillistä virhettä, joka tapahtui järjestelmässä suoritettua vian etsinnän yhteydessä.

Uudessa European Rail Traffic Management Systemsissä (ERTMS) on kehitteillä niin sanottu liikkuva raideosuusjärjestelmä. Järjestelmän toiminta perustuu junan tarkan sijainnin tuntemiseen radiotekniikkaan perustuvan tunnistamisen ja radan varteeseen asennettujen mittalaitteiden avulla. Järjestelmällä pystytään kasvattamaan rataosuuden läpivientikykyä kevyin infrastruktuuri-investoinnein.

ERTMS-järjestelmän käyttöönotto pyrkii yhdenmukaistamaan eurooppalaisten rautateiden kulunvalvontajärjestelmien toteutusarkkitehtuureja. Tavoitteena on, että junat pystyvät ajamaan läpi Euroopan teknisesti yhdenmukaisen kulunvalvonnan alaisuudessa. Järjestelmä on jaettu kolmeen eri tasoon, joista taso kolme on teknisessä mielessä modernein.

Teknisten etujen lisäksi järjestelmä tarjoaa mahdollisuuksia kustannussäästöihin. Näitä ovat halvemmat tuotantokulut johtuen suurista tilausmääristä ja kuudesta eri järjestelmän valmistajasta, joita radanpitäjä voi vapaasti kilpailuttaa.

Järjestelmän yhdenmukaistaminen tuo selviä säästöjä Keski-Euroopan junaoperaattoreille, jotka toimivat maiden välisessä liikenteessä. Esimerkiksi junaoperaattori Thalys joutuu varustamaan Pariisi-Bryssel-Köln-Amsterdam reittiä liikennöivän junansa seitsemällä eri junanohjausjärjestelmällä. Yhteensä Euroopassa on käytössä yli 20 erilaista junanohjausjärjestelmää.

Siirryttäessä järjestelmän asennuksessa tasolle kaksi poistuvat radan varressa olevat opastimet kokonaan. Opastimet ilmoitetaan suoraan junan ohjaamossa sijaitsevalle näytölle. Tämä on tarpeen erityisesti suurnopeusjunien yhteydessä, sillä radanvarsiopastimien lukeminen on niissä haasteellista.

Tasoilla kaksi ja kolme ei vaadita enää radan varressa olevaa signaalijärjestelmää, kuten aiemmin jo mainittiin. Junassa itsessään on järjestelmä, johon on tallennettu ratainfrastruktuurin tiedot. Juna tietää oman sijaintinsa matkamittarin avulla, jonka antama lukema tarkastetaan aina ylitettäessä rataa asennettu baliisi. Baliisiin ”vastakappaleesta” käytetään termiä antenni, joka on asennettu junaan.

Junan sijainti lähetetään liikenteenohjauskeskukselle GSM-R-järjestelmän avulla. Junassa oleva tietokone saa ohjauskeskukselta myös muiden junien sijaintitiedot GSM-R-järjestelmän välityksellä. Näiden tietojen ja tunnetun ratainfrastruktuurin perusteella junassa oleva tietokone huolehtii, että etäisyys edellä olevaan junaan on riittävä, mutta silti useissa tapauksissa lyhyempi kuin perinteisessä kiinteässä raideosuusjärjestelmässä. Tämä parantaa rataverkon läpivientikykyä.

Perinteisessä raideosuusjärjestelmässä, joka on toteutettu raidevirtapiirin ja akselinlaskimien avulla, juna saattaa joutua aloittamaan jarruttamisen punaiseen valo-opastimeen saavuttaessa, vaikka valo-opastin olisikin muuttunut vihreäksi vakionopeudella ajettaessa. Järjestelmä ei siis ennakoiv juna saapumista. Näistä turhista jarrutuksista päästään eroon ERTMS:n ylempien tasojen käyttöönoton myötä.

3 RAUTATIEALAN SÄÄDÖKSET

Euroopassa rautatiesektorin toimijoiden toimintaedellytyksiin säädöksillä vaikuttaa European Railway Agency (ERA) eli Euroopan rautatievirasto. ERA:lla on tavoitteena luoda säännöstö, jonka pohjalta Euroopan rautatieverkostosta tehdään mahdollisimman yhtenäinen teknisesti. Tätä projektia ERA johtaa Euroopan Komissiolta saamansa valtuutuksen perusteella.

ERA julkaisee luonteeltaan määräyksen asemassa olevia TSI:tä eli Technical Specifications for Interoperabilityjä, joista Rautatievirasto julkaisee suomennetut YTE:t eli Yhteentoimivuuden tekniset eritelvät. YTE:t on jaettu käsittämään rautatieympäristön eri osa-alueita kuten liikkuvan kaluston ja sähköjärjestelmän.

ERA:n esitys menee Euroopan komissiolta esittelyyn yhteentoimivuus- ja turvallisuuskomitealle. Komitean hyväksyttyä YTE:n Euroopan komissio tekee päätöksen tai asetuksen, josta ilmoitetaan jäsenvaltioille. YTE:t ovat luonteeltaan sellaisia, että ne saatetaan voimaan viranomaismääräyksellä. Suomessa tämä viranomainen on Rautatievirasto. YTE:t tulee liittää osaksi kansallisia määräyksiä.

YTE:t ovat asiakirjoja, joita tulee noudattaa. EN-standardit ovat luonteeltaan yleensä suosituksia. Niiltä osin kuin EN-standardeihin viitataan YTE:issä, ovat ne kuitenkin määräyksen luonteisia. UIC-standardit ovat rautateillä toimivien organisaatioiden yhteisesti hyväksymiä suosituksia.

European Infrastructure Managers (EIM) on järjestö, joka toimii eurooppalaisten rataverkon pitäjien etujärjestönä. Ratahallintokeskus on yksi EIM:n jäsenorganisaatio, kuten myös esimerkiksi ruotsalainen Banverket ja norjalainen Jernbanverket. EIM:n tehtävänä on tuoda rataverkon haltijoiden mielipide esille.

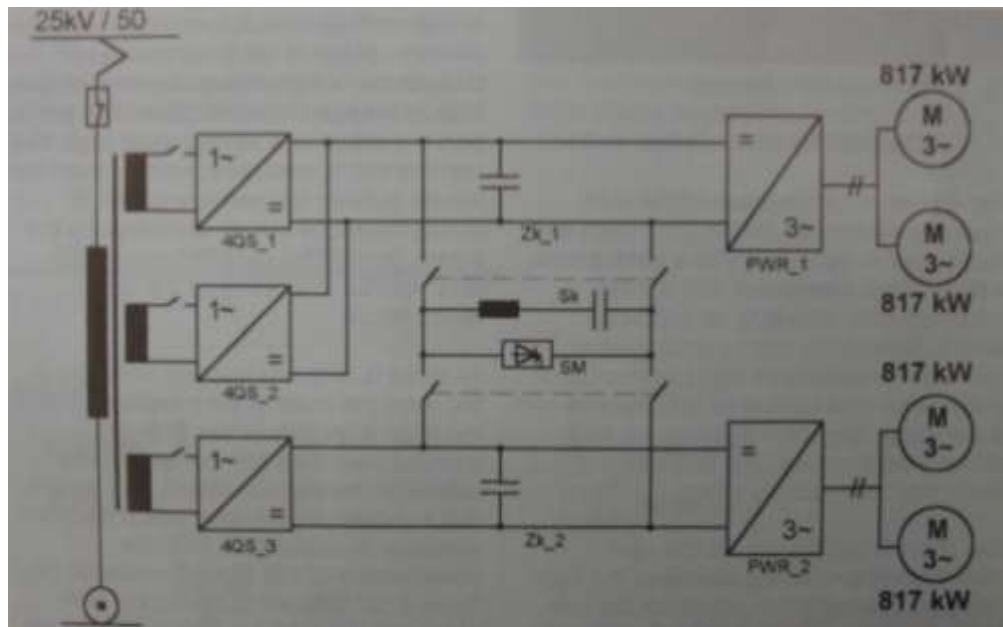
Tämän työn osalta oleellisia YTE:jä ovat liikkuvaan kalustoon ja energiaan liittyvät asiakirjat. Virroitin on komponentti, jonka yhteentoimivuus sähköjärjestelmän ja ajolangan kanssa määritellään Energia-YTE:ssä, mutta kyseessä on kuitenkin liikkuvan kaluston komponentti, joten muita vaatimuksia ja hyväksymistestausta käsitellään Liikkuvan kaluston YTE:ssä. Sekä Energia YTE että Liikkuvan kaluston YTE ovat keskeneräisiä dokumentteja tätä työtä kirjoitettaessa ja tarjoavat tulevaisuudessa pohjan rautatieympäristön eri komponenttien vaatimuksille.

4 SÄHKÖVETOKALUSTON VIRROITTIMET

Sähkövetokalustolla tarkoitetaan sähkövetureita ja -junia, jotka ottavat tarvitsemansa tehon radan yläpuolisesta ajolangasta virroittimen kautta. Sähköveturi pystytään kytkemään vetämään erilaisia vaunuyhdistelmiä, kun taas sähköjunassa vetokalusto ja kuljetustilat ovat yksi yhtenäinen kokonaisuus, kuten esimerkiksi Pendolinossa.

Modernin sähkövetokaluston tehonottojärjestelmä on esitetty kuvassa 13. Se koostuu päämuuntajasta, joka muuntaa ajolangan 25 kV:n jännitteen tasasuuntaajalle noin 700 volttiin (Suuriniemi 2008–2009). Muunnettu jännite tasasuunnataan taajuusmuuttajan ensimmäisessä asteessa, josta se ohjataan kondensaattorin kautta vaihtosuuntaajalle, jossa muodostetaan oikosulkumoottorille syötettävä kolmivaihevaihtojännite. Järjestelmä pystyy syöttämään jarrutusenergiaa takaisin verkkoon.

Esimerkiksi VR-yhtymän mallimerkintää Sr2 käyttävä sähköveturi on varustettu kolmivaiheoikosulkumoottorilla. Oikosulkumoottorin yhtenä etuna on se, ettei moottori lyö hallitsemattomasti ympäri pidon pettäessä, koska moottorin pyörimisnopeus ei ylitä syöttötaajuutta. Myös nopea tehon säätö akselikohtaisesti mahdollistaa korkeiden vetovoimien käyttämisen huonoissa kitkaolosuhteissa.



Kuva 13: Modernin sähkövetokaluston tehonottojärjestelmä.

Eräissä dieselvetureissa, kuten VR-yhtymän Dr16–vetureissa, on dieselsähköinen voimansiirto. Tässä järjestelmässä dieselmoottori on kytketty sähkögeneraattoriin, jonka tuottama virta ohjataan taajuusmuuttajien kautta sähkömoottoreille, jotka pyörittävät vetäviä pyöriä. Niiden etuna on mahdollisuus operoida sähköistämättömillä rataosuuksilla. Dieselsähköisiä vetureita ei tule sekoittaa sähkövetureihin.

VR-yhtymän käyttämän sähkövetokaluston tehot ja eräät muut ominaisuudet on listattu taulukossa 1. On huomattavaa, että suurin osa kalustosta kulkee ilman virroittimen automaattisesti vauriotilanteessa alas laskevaa järjestelmää. Tämä järjestelmä tunnetaan lyhenteellä ADD.

Taulukosta 1 havaitaan, että liikennöitävästä 334 sähköveturista ja junasta 94 on varustettu ADD:llä. Loput 240 kulkevat siis ilman ADD:tä. ADD:n puuttuminen suurimmasta osasta kalustoa toimii yhtenä perusteena sille, miksi käyttöön halutaan järjestelmä virroittimen kunnonvalvonnalle. Liikkuvan kaluston YTE:n valmistelun yhteydessä selvitetään mahdollisuutta vaatia ADD-järjestelmää kaikkiin uusiin juniin Euroopan laajuisesti. Suomessa vaatimus ADD:stä tulee radalle pääsyn edellytykseksi joka tapauksessa uudelle kalustolle.

Taulukko 1: Eräitä sähkövetokaluston ominaisuuksia. Uudemman sähkömoottorijunayksikkö Sm2:n teho on pienempi kuin vanhemman Sm1:n kevyemmän korirakenteen ansiosta.

Junan tai veturin tyyppi	Käytössä (kpl)	Varustettu ADD:llä	Teho (kW)	
Sm1	50	–	860	
Sm2	50	–	620	
Sm3	18	x	4000	
Sm4	30	x	1200	
Sr1	140	–	4000	
Sr2	46	x	6000	

4.1 Virroitin

Virroittimen yläpinnan kontaktihiilet välittävät ajolangan tuoman tehon sähkövetokaluston moottoreille. Virran kulun tulee olla mahdollisimman tasaista ajolangan ja virroittimen välillä siten, että molemmat komponentit kulusivat käytössä mahdollisimman vähän. Virroitin ja ajolanka muodostavat kaksi värähtelevää alisysteemiä. Virroittimen tyyppihyväksyntävaiheessa kiinnitetään huomiota virroittimen värähtelyn ja iskujen kestävyYTEEN. Standardeissa UIC-608 ja EN-50206 on esitetty virroittimen muotoon ja tyyppihyväksyntään liittyviä asioita. Kuvassa 14 on esitetty junan katolle asennettu virroitin.

Virroitinvalmistajan mukaan virroittimeen vaikuttavat dynaamiset voimat ovat lähinnä vertikaalisia ja ajolangasta johtuvia (Schunck Bahntechnik 2003). Aerodynaamiset voimat vaikuttavat voimaan, jolla virroitin painautuu ajolankaa vasten. Näiden voimien kompensoimiseksi virroitin on varustettava sopivalla värinän- ja iskunvaimennusjärjestelmällä. Käytännössä tämä tarkoittaa jousia ja ilmatoimisia iskunvaimentimia. Mitä kevyempi iskunvaimennusjärjestelmä on, sitä nopeammin se pystyy reagoimaan ja säilyttämään kontaktihiilien katkeamattoman yhteyden ajolankaan.

Virroittimen rakenteen tulee olla sellainen, että jokapäiväinen käyttö on mahdollisimman sujuvaa ja turvallista. Virroittimen ojentamisen yläasentoon tulee tapahtua alle 10 sekunnissa, alas vetämisen oleellisin ominaisuus on myös nopeus. Molempien tapahtumien tulee olla sellaisia, että virroittimen yläosa pysyy ± 50 mm:n sisällä määritellystä toiminta-alueestaan pituussuunnassa ja ± 10 mm:n sisällä sivuttaissuunnassa.



Kuva 14: Junan katolle asennettu virroitin. Virroitinta kannattelee diplomi-insinööri Samuli Suuriniemi, VR.

Virroittimen nousun ja laskun tulee tapahtua siten, ettei siitä aiheudu iskuja, jotka voivat vahingoittaa virroitinta tai ajolankaa. Virroittimen valmistaja ja asiakas voivat sopia toiminta-alueen raja-arvoista keskenään. Tulevassa Liikkuvan kaluston YTE:ssä määritellään, että virroittimen tulee pystyä ottamaan virtaa vastaan korkeusvälillä 5600–6500 mm. Suomessa yläraja on 6600 mm.

Tulevassa Liikkuvan kaluston YTE:ssä virroittimen ylöspäin suuntautuvan voiman tulee olla välillä 60–90 N ajettaessa vetokalustoa 50 Hz:n ja 25 kV:n vaihtovirtajärjestelmään perustuvassa toteutuksessa. Virroittimen korkeus vaihtelee ajon aikana, johtuen mm. siltojen kohdalla matalammalla kulkevasta ajojohtimesta ja johtimen riippumisesta kääntöorsien välillä. On suotavaa, että virroittimen nostovoima pysyisi vakiona virroittimen koko toiminta-alueella, ei pelkästään tietyllä yhdellä toimintakorkeudella. Esimerkiksi saksalainen Schunk Bahntechnik tarjoaa laitteistoa tähän tarkoitukseen (Schunk Bahntechnik 2003).

Matkan aikana virroittimen yläosan korkeus saattaa vaihdella jopa kaksi metriä johtuen esimerkiksi silloista (Gabbott 2007). Tällöinkin virran kulun tulee olla tasaista. Voiman, jolla virroitin painautuu ajolankaa vasten, tulee olla myös mahdollisimman vakio. Työn

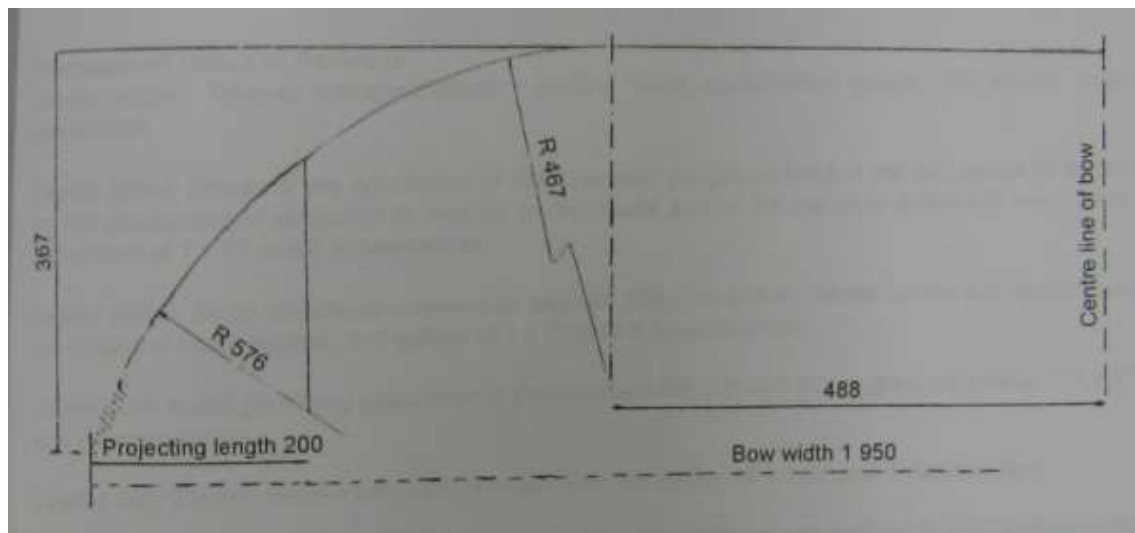
aiheena oleva APMS-järjestelmä on tarkoitus laajentaa tulevaisuudessa virroittimen nostovoiman mittaukseen soveltuvaksi.

Hätälaskujärjestelmän lauetessa virroittimen tulee irrottautua ajojohtimesta ja saavuttaa pienin sallittu sähköinen etäisyys alle kolmen sekunnin. Järjestelmän toiminnan tulee olla myös sellaista, ettei virroitin nouse ala-asennostaan dynaamisten tai aerodynaamisten voimien johdosta suurimmalla sallitulla nopeudellakaan.

Virroittimen nostamisesta ja laskemisesta vastaava käyttöjärjestelmä voi olla joko paineilma- tai sähkötoiminen. Mikäli erityisiä arvoja ei ole määrätty, tulee tyyppi- hyväksynnän yhteydessä varmistaa käyttöjärjestelmän toimivuus lämpötiloissa -25 °C ja $+40\text{ °C}$.

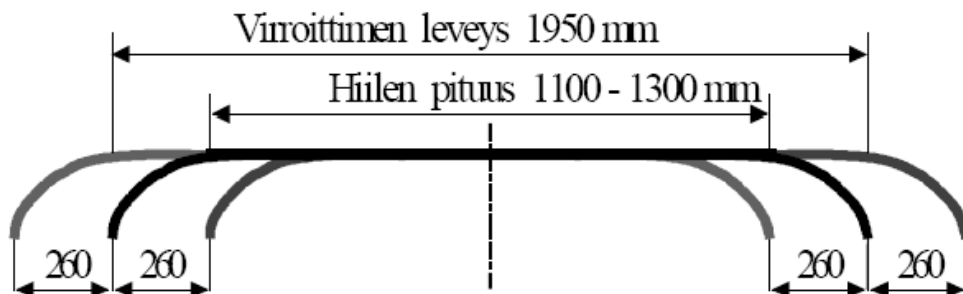
Virroittimen keskiputken leveyden tulee olla Suomessa 1950 mm. RHK on määritellyt kontaktihiilen leveyden sallituksi arvoksi 1100–1300 mm.

Kuvassa 15 on esitetty virroittimen yläkaarien välissä olevan ns. keskiputken profiili. Kyseinen profiili tulee olemaan tulevaisuudessa hankittavan kaluston keskiputken profiili. (Suuriniemi 2008–2009). Keskiputki estää ajolangan päätymisen virroittimen yläkaarien alle. Se myös takaa sujuvan ajojohdinjänteen vaihtumisen.



Kuva 15: 1950 mm keskiputki. Loiva sarven pää (UIC 608).

Virroittimen yläosan mitoille sekä junan jousituksen ja radan kallistuman aiheuttamalla sivuttaisliikkeelle keskiaseman molemmin puolin on määritetty tietyt raja-arvot. Arvojen ylittyminen voi aiheuttaa virroittimen siirtymisen ajolangan päälle, jolla olisi tuhoisat seuraukset. Kuvassa 16 on esitetty virroittimen yläosan mitat siten kuin RHK ne antaa.

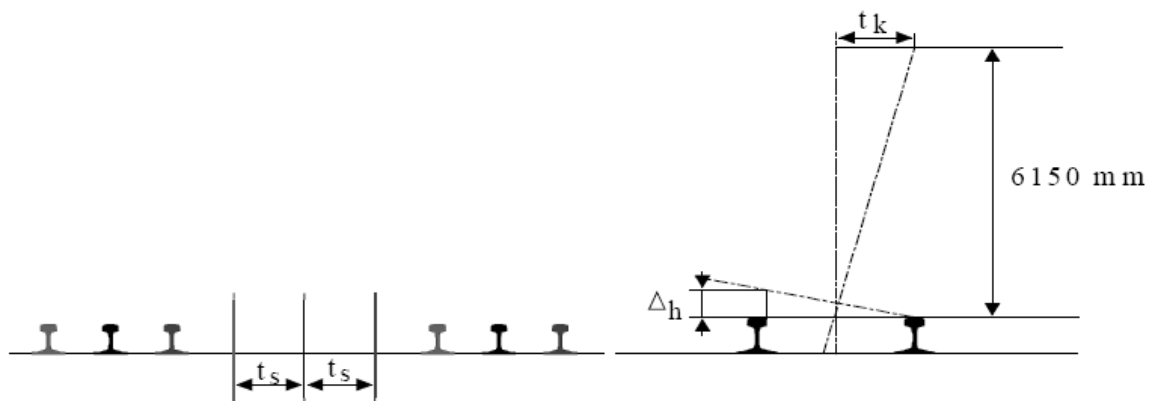


Kuva 16: Virroittimen yläkaaren liikkumavaraksi mitoitetaan 260 mm raiteen keskiliinjan molemmin puolin (Ratahallintokeskus 2005).

Raiteen virheistä aiheutuva virroittimen sivupoikkeama on

$$t_v = t_s + t_k \quad (1)$$

Poikkeamien t_s ja t_k tausta on esitetty kuvassa 17. Kaavassa (1) t_s on raiteen sivupoikkeama ja t_k raiteen kallistuspoikkeama. Yläkaaren suurimmalle sallitulle sivuttaisliikkeelle radan keskiviivan molemmin puolin on määritelty raja-arvoksi 260 mm.



Kuva 17: Radanrakenteista johtuva virroittimen liikkumavara (Ratahallintokeskus 2005).

Raiteen sivupoikkeaman t_k arvo on $4\Delta_h$. Approksimaatio voidaan tehdä, koska etäisyys Δ_h kiskonselästä on pieni verrattuna kiskon yläselän ja ajolangan väliseen 6150 mm:n etäisyyteen. Mitoitettaessa virroitinta voidaan virroittimen sivupoikkeamalle t_v käyttää arvoa 105 mm. Lisäksi mitoituksessa tulee ottaa huomioon kaluston jousituksesta aiheutuva virroittimen sivuttaisliike. Mitoitukseen voidaan käyttää arvoa 125 mm. Yhteensä näistä tulee 230 mm.

4.2 Virroittimen testaaminen

Virroitin altistuu toimintaympäristössään erisuuntaisille voimille ja tärinälle. Siksi virroittimen tärinän ja voimien kestävyys tulee testata tyyppihyväksynnän yhteydessä. Virroittimen testausta on käsitelty EN-standardissa 50206–1. Tärinään liittyviin testeihin on tulossa kenties muutoksia IEC 61373-standardin valmistuttua.

Luonnollinen poikittaistaajuus eli taajuus, jolla virroitin värähtelee sivuttaissuunnassa, määritetään ojentamalla virroitin 75 %:iin korkeimmasta toimintapisteestään ja vapauttamalla virroitin asennosta, jossa sitä pidettiin yläosan keskipisteeseen vaikuttavalla 300 N:n voimalla. Vapauttamisen jälkeen virroitin värähtelee luonnollisella taajuudella f_0 .

Virroittimen sivuttaisvärähtelyn tyyppitestaus suoritetaan asettamalla virroitin eristimiensä kanssa värähtelevän pöydän päälle. Virroittimen yläpäänä tulee käyttää suurinta kyseiselle mallille sallittua massaa. Värähtelyn taajuuden tulee olla 10 % alle taajuuden f_0 .

Kiihtyvyyden a laskentaan käytetään kaavaa

$$a = \frac{0,7g f_0}{(f_0^2 - 1)} \quad (2)$$

missä f_0 on virroittimen luonnollinen värähtelytaajuus sivuttaissuuntaan ja g putoamiskiihtyvyys, jonka arvo on $9,81 \text{ m/s}^2$.

Amplitudin tulee olla sellainen, että virroittimen yläosan keskipiste saa kiihtyvyyden a arvoksi 7 m/s^2 . Käytettäessä kaavaa (2) tulee f_0 :n arvon olla yli 3 Hz. Virroittimen käyttöjärjestelmän toiminnan ja nostamisen ja laskemisen tulee tapahtua 10^7 syklin jälkeen odotetulla tavalla.

4.3 Automatic Dropping Device (ADD)

ADD on järjestelmä, joka toimiessaan halutulla tavalla laskee vahingoittuneen, tai eräissä malleissa, joita ei ole VR:n liikennöimässä kalustossa, liian alhaalla tai ylhäällä olevan virroittimen alas. Voimakkaan sivutuulen tilanteessa on vaarana virroittimen päätyminen ajolangan päälle, mikäli käytetään ADD:tä, joka ei ole varustettu korkeuden valvontaan tarkoitettulla laitteistolla (Ellis 2006). Sähkövetokalusto voidaan ajaa myös vahingossa ajolangattomalle rataosuudelle.

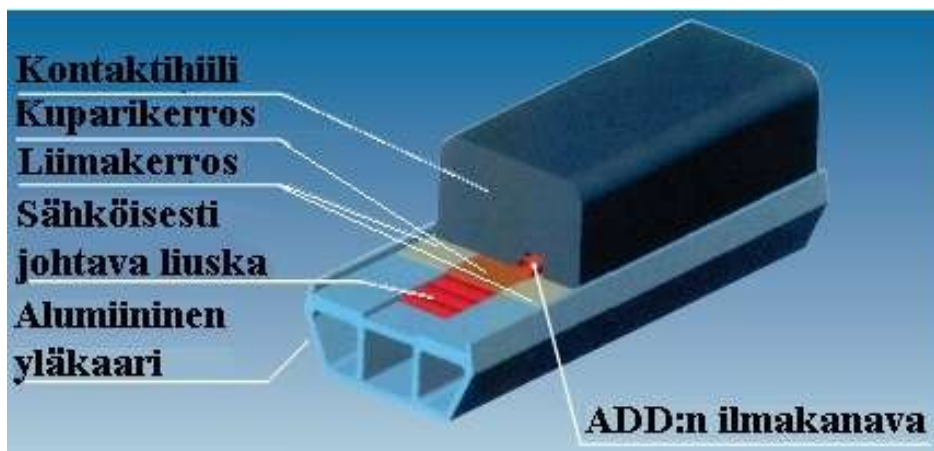
ADD:n toiminta vahingoittuneen virroittimen tapauksessa perustuu kontaktihiilen sisällä olevaan paineistettuun ilmakeenavaan. Kun paine katoaa yllättäen ilmakeenavasta, laskeutuu virroitin ala-asentoon. Toiminnan on kuitenkin oltava sellaista, että se ei aktivoidu vähäisistä kontaktihiilen vaurioista ja pienistä vuodoista. ADD:n pneumaattiseen valvontajärjestelmään on mahdollista liittää myös äänenilmaisin. Mikään standardi ei velvoita toistaiseksi käyttämään ADD:tä, vaan kyseessä on asiakkaan ja virroittimen toimittajan välillä sovittava lisäominaisuus. Liikkuvan kaluston YTE:n valmistelun yhteydessä tutkitaan mahdollisuutta tehdä ADD:stä pakollinen varuste.

Kuvassa 18 on esitetty ADD:n paineilemälaitteen kytkentä alumiiniseen yläkaareen. Yläkaari on kytketty virroittimen runkoon kuparisilla johtimilla, jotka ovat kuvassa tummuneet lähes mustiksi. Kuparisia johtimia käytetään myös virroittimen nivellettyjen kohtien ohittamiseen. Johtimilla varmistetaan virran kulku. Koko virroitin on jännitteinen.



Kuva 18: ADD:n paineilmaletkun liittäminen virroittimen alumiiniseen yläkaareen.

Muun muassa saksalainen Schunk Kohlenstofftechnik valmistaa ADD:llä varustettuja virroittimia. Kuvassa 19 on esitetty poikkileikkaus tällaisen virroittimen yläkaaresta ja kontaktihiilestä. Yläkaari ja kontaktihiili liitetään yhteen sähköisesti johtavalla liimalla. Myös VR:n käyttämien virroittimien kontaktihiilet on kiinnitetty liimaamalla yläkaaren alumiiniin. Vaihtovirtajärjestelmässä kontaktihiilen materiaali on nimensä mukaisesti hiili. Tasavirtajärjestelmissä kontaktihiili voi olla metallilla kyllästetty.



Kuva 19: ADD:llä varustetun virroittimen yläkaaren ja kontaktihiilen rakenne (Schunk Kohlenstofftechnik).

ADD:llä varustetun virroittimen käyttö on mahdollista ADD pois kytkettynä. Tällainen tilanne voi syntyä, mikäli kontaktihiilen ja pikalaskuventtiilin väliselle linjalle tulee häiriöitä. Tällaisessa häiriötapauksessa kalusto voidaan päästää Suomessa radalle ilman ADD:tä. Korjaus tulee kuitenkin tehdä mahdollisimman pian.

ADD:n toiminnan tyyppitestauksen tulee tapahtua kahdessa eri asennossa, ylimmässä toiminta-asennossa ja siten, että virroitin on nostettu ala-asennostaan ylöspäin matkan, joka vastaa 20 %:a koko toiminta-alueen pituudesta. Reaktioajaksi määritellään aika, joka virroittimen yläosalta kuluu 20 cm:n laskeutumiseen siitä hetkestä, jolloin ”vahingoittuminen” tapahtuu. Vahingoittumista voidaan simuloida esim. sulkemalla venttiili, jonka kautta järjestelmä paineistuu, ja laskemalla tämän jälkeen paine ulos (Suuriniemi 2008–2009). Tyyppihyväksyntätestissä tämän ajan tulee olla enintään yksi sekunti.

ADD voidaan toteuttaa eri tavoin. Kuvassa 20 on esitetty erilaisia ADD:n toteutuksia. Erityisesti metalliseen putkeen tai ilmakehään perustuvat ratkaisut saattavat olla laskematta virroitinta, vaikka hiili on lohjennut.



Kuva 20: Erilaisia ADD:n toteutuksia.

Kuvassa 21 on esitetty Ruotsissa kuvattu rikkoutunut hiili. Kuvassa oleva virroitin on varustettu ADD-järjestelmällä, mutta virroitin ei ole laskeutunut ala-asentoon. Tämä viittaa siihen, että ADD-järjestelmä ei aina riitä suojaamaan ratajohtoa virroittimen liukuhiilen rikkoutumisesta aiheutuvalta vauriolta.



Kuva 21: ADD:llä varustettu virroitin, jonka hiili on rikkoutunut ilman, että virroitin on laskeutunut alas.

4.4 Virroittimen hinta

Virroittimen hintahaarukka liikkuu alle 10 000 eurosta useisiin kymmeneen tuhansiin euroihin. Uuden Sm5-lähiliikennejunan virroittimen hinta on alle 10 000 euroa. Edullisuutensa takia sille pyritään saamaan hyväksyntä Sm4-lähiliikennejunan vaihtosaksiksi. Virroittimen sovittaminen Sm4:n katolle vaatii erillisen sovitusalustan rakentamista, jotta virroittimen asennustelineen kolme reikää saadaan sovitettua junan katon vastaaviin reikiin. Suomessa komponenttien hyväksynnästä rautatieliikenteen käyttöön päättää Rautatievirasto. Ennen Sm5:n virroittimen hyväksymistä Sm4:n vaihtosaksiksi suoritetaan testausvaihe, jonka tuloksien täytyy täyttää tietyt kriteerit. Kuvassa 22 on uuden Sm5-lähiliikennejunan virroitin.



Kuva 22: Sm5-lähiliikennejunan virroitin.

Virroitin asennetaan junan katolle eristimien välityksellä. Junan katto ei saa olla jännitteinen. Virroittimen alarunkoon kytketään kiinni kisko tai kaapeli, joka kuljettaa tehon pääkatkaisijalle.

Palje nostaa virroittimen yläasentoon paineilman avulla. Virroittimen yläosa on jousitettu. Jousituksella pyritään takaamaan virroittimen molempien kontaktihiilien tasainen painautuminen ajolankaa vasten, valokaarien välttämiseksi. Kuvassa 22 ei näy alarungossa sijaitsevaa iskunvaimenninta.

Virroittimessa oleva siipi tuottaa aerodynaamista nostetta. Sen muotoilu tekee mahdolliseksi virroittimella ajamisen molempiin suuntiin.

5 KONTAKTIHIILEN JA AJOLANGAN KULUMINEN

Sähkövetokaluston ja ratainfrastruktuurin välillä on kaksi mekaanista rajapintaa. Toinen on pyörän ja kiskon välinen, toinen virroittimen kontaktihiilen ja ajolangan välinen. Pyörän ja kiskon välistä rajapintaa on tutkittu vuosien ajan, painottaen turvallisuus- ja mukavuuskysymyksiä. Kontaktihiilen ja ajolangan välinen rajapinta on vähemmän tutkittu alue, vaikka tämän järjestelmän pettäminen aiheuttaa raideliikenteen keskeytymisen kyseisellä raideosuudella. Euroopan komission rahoittama Europac-projekti keskittyy ajolangan ja virroittimen välisen rajapinnan tutkimiseen.

Radan yläpuolella oleva infrastruktuuri eli ajo- ja tukilangat on suunniteltu Euroopassa yli 30–50 vuoden käyttöikää ajatellen (O'Donnell ym. 2006). Tämän johdosta on perusteltua pyrkiä käyttämään materiaaleja, joiden välinen kitkakerroin on mahdollisimman pieni ja huolehtimaan tämän järjestelmän kunnosta. Suomessa ajolangan materiaalina on käytetty kuparia. Virroitin kytkeytyy ajolankaan hiilikontaktin kautta. Virroittimen liukuminen ajojohdinta pitkin ja erilaiset ei-toivotut sähköiset ilmiöt, kuten kipinäinti ja valokaari, ovat määrääviä tekijöitä virroittimen kulumisessa. Kontaktihiilen ja ajolangan välisen kontaktin pinta-ala on muutaman neliösenttimetrin luokkaa. Sekä virroittimen hiili että ajolanka kuluvat liukumisen seurauksena.

5.1 Europac-projekti

Europac-projekti pyrkii kehittämään ratkaisuja ajolankavaurioiden minimoimiseksi. Projektin kolme pääosa-aluetta keskittyvät simulointimalleihin, radan varteen asennettujen mittalaitteiden avulla tapahtuvaan valvontaan ja itse kalustoon asennettaviin mittalaitteisiin. Tavoitteena on siirtyä ennaltaehkäisevästä ajolangan huoltotoiminnasta tarpeen mukaan tapahtuvaan toimintaan. Tällä saavutetaan parhaassa tapauksessa huollon kustannussäästöjä. Tavoitteena on myös parantaa sähkövetokaluston yhteensopivuutta eri maiden välillä.

Ohjelmisto

Projektissa kehitetään simulointiohjelmistoa, nimeltään Europacas, sähkövetokaluston virran oton simuloimiseksi. Ohjelmisto keskittyy simuloimaan virranoton sujuvuutta vaihtelevissa olosuhteissa. Näitä olosuhteita voivat olla kulunut ajo- tai kannatinlanka, virroittimen kuluneisuus sekä poikkeavat tuuliolot ja lämpötilat.

Ohjelmisto koostuu kahdesta osasta. Ensimmäinen sisältää ajolangan simulointiin tarkoitettut työkalut, toinen virroittimen. Ohjelmistoa on tarkoitus käyttää myös uusien virroitinmallien suunnittelun apuna.

Rataverkolla tapahtuva valvonta

Europac-projektissa pyritään myös kehittämään järjestelmä, joka tarkistaa rataosuudelle saapuvan sähköjunan tai -veturin virroittimen yhteensopivuuden kyseisen osuuden kanssa. Tämä on oleellista Keski-Euroopassa, jossa maiden välinen liikenne muodostaa oman riskinsä sopimattoman kaluston käytöstä. Samalla tarkastetaan myös ajolankaan kiinnitetyin mittalaittein, että virroitin on asianmukaisessa kunnossa.

Europac-projektin lähtökohtana luotaessa ratainfrastruktuuriin sijoitettavaa valvontalaitteistoa on ollut laitteiston koostuminen pienemmistä osakokonaisuuksista. Tällä on pyritty tekemään laitteistosta mahdollisimman moneen kohteeseen sopiva. Ideana on ollut, ettei järjestelmää harkitseva taho joudu ”kaikki tai ei mitään” -tilanteeseen, vaan sopiva kokonaisuus löytyy niin maiden väliselle rajalle kuin lähiliikenteen valvontaan.

Radanvarressa tapahtuvan valvonnan tavoitteena on pyrkiä myös erottamaan, minkä tyyppisestä virroitinviaasta on kyse. Eri osakokonaisuuksien välittämä valvontatieto analysoidaan keskitetysti.

Tavoitteena on löytää tietynlaisia vikaantumismekanismeja. Mittauksien antaman tiedon perusteella saatetaan havaita tietyn tyyppisen vian alkava kehittyminen jo ennen vakavampaa, selvästi havaittavaa vauriota. Jos tässä vaiheessa tunnetaan jo, miten vaurion eteneminen jatkuu, voidaan huoltotoimenpiteet suorittaa ennaltaehkäisevästi. Parhaimmassa tapauksessa virroittimen ja ajolangan huoltoväliä voidaan kasvattaa luotettavuuden kärsimättä.

Sähkövetokalustoon asennettavat mittalaitteet

Projektin tavoitteena on varustaa sähkövetokalusto mittalaitteistolla, joka analysoi vetokaluston kulkiessa ajolangan kuntoa. Virroittimen kelkka varustetaan järjestelmässä kiihtyvyyssantureilla, jotka mittaavat pystysuuntaista ja kulkusuuntaan nähden poikittaista kiihtyvyyttä. Esimerkiksi katkennut ajolangan ripustinköysi havaitaan kiihtyvyyssantureilla. Lisäksi sähkövetokaluston katolle on tarkoitus asentaa valaistusvoimakkuuden mittaamiseen soveltuva ilmaisin valokaarien havaitsemiseksi. Suomessa vastaavaa palvelua, tosin ilman valokaaren valaistusvoimakkuuden mittalaitetta, tarjoaa ELLI-mittausvaunu.

Virroittimeen asennettujen antureiden lisäksi järjestelmä analysoi ajolangan kuntoa kuva-analyysiin perustuvalla menetelmällä. Kuva-analyysi toimii mekaanisten mittausten varmentamisen osana, esimerkiksi katkenneiden ripustimien tapauksessa.

Keski-Euroopassa junien nopeus saattaa olla yli 300 km/h. Tämä vaikeuttaa kontrastiltaan hyvien kuvien ottamista näkyvän valon alueella. Valokuvaaminen infrapuna-alueella parantaa kuvien kontrastia (Hamey 2007). Kontrastia pyritään parantamaan entisestään junassa olevilla infrapunalähteillä.

Järjestelmän testaus suoritetaan testiradoilla Ranskassa ja Tšokeissa. Testien aikana ajolankaan aiheutetaan vaurioita, joiden aiheuttama vaste virroittimelle mitataan. Vaurioiden antamista vasteista muodostetaan ”vauriokirjasto”, joka auttaa järjestelmää tunnistamaan vaurioita oikeassa rautatieympäristössä.

5.2 Ajolangan ja kontaktihiilen kulumisen tutkiminen

Politecnico di Milanossa tehdyssä tutkimuksessa on kuvattu, kuinka laboratorio-olosuhteissa on mahdollista tutkia hiilen ja ajolangan kulumista virroittimen liukumisnopeuden, virrantiheyden, virroittimen ja ajolangan välisen voiman ja käytettyjen materiaalien funktiona (Bucca & Collina 2009).

Euroopassa pyritään pääsääntöisesti pitämään huoli kontaktihiilien kunnosta. Ajolangan geometriassa olevat virheet voivat kuitenkin aiheuttaa merkittävää ylimääräistä kulumista virroittimen hiilissä. Liian suuri kontaktivoima aiheuttaa sekä langan että kontaktihiilen ennen aikaista kulumista. Liian pieni voima saattaa aiheuttaa katkoksia tehonottoon ja kipinöintiä, joka johtaa sähköiseen kulumiseen ja saattaa vahingoittaa ajolankaa.

Kontaktivoiman säätö onnistuu vain virroittimen säätämällä. VR on määritellyt suurimmaksi sallituksi staattiseksi kontaktivoiman arvoksi 100 N. Arvo pyritään pitämään alle 70 N:n.

Suomessa sähköradan kuntoa valvotaan erityisesti tätä tarkoitusta varten hankitulla RHK:n ELLI-mittausvaunulla. Vaunu on varustettu ajojohtimen dynaamista mittausta ja kiskojen kuluneisuuden mittausta varten. Tarkistusmittauksilla varmistetaan rataverkon turvallisuus ja luotettavuus. ELLI-vaunun katolla on laseroptinen mittalaite. Laite mittaa kääntöorret ja ajolangan korkeuden. Kääntöorsien sijainnin mittausta käytetään apuna vaunun paikan määrittämiseen. Tällä on merkitystä tulosten analysoinnin kannalta. Sillä myös mitataan ajolangan korkeutta ja siksakkia. Lisäksi ajolangan pituuskaltevuus, eli ajolangan korkeusero kahden perättäisen kääntöorren välillä, saadaan selville laskennallisesti.

Yhdistetyt tilastot, joihin on kerätty aineistoa DB:ltä (Deutsche Bahn, Saksa), Trenitalialta (Italia) sekä SNCF:ltä (Société Nationale des Chemins de fer Français,

Ranska), paljastavat näiden operaattoreiden kalustolle osuvan vuosittain 915 ajolankavauriota. Tilastointi on tehty osana EUROPAC-projektia (Cléon ym. 2005). Ajolankavaurioista aiheutuva ajallinen viivästyminen näille operaattoreille on 443 000 minuuttia, joka vastaa 307 vuorokautta.

5.3 Vaurioitunut ajolanka

Toiminnasta ajolangan vaurioituessa antaa ohjeistuksen RHK:n julkaisu B22-Sähkörataohjeet (Ratahallintokeskus 2009b). Mikäli veturimiehistö tai muu rautatiehenkilökunta havaitsee ratajohdossa vaurion, tulee tästä ilmoittaa välittömästi liikenteenohjaukselle. Mikäli vian luonne antaa olettaa, että paikan seuraavaksi ohittava sähkövetokalusto pahentaisi vikaa, tulee kyseinen rataosuus sulkea. Osuus on pidettävä suljettuna kunnes vian laajuus on selvitetty. Myös käyttökeskukseen tulee tehdä ilmoitus.

Käyttökeskuksen paikannettua vian ilmoittaa se liikenteen ohjaukselle erotetut kytkentäryhmät. Mikäli aukean tilan ulottuma on vapaa, voi käyttökeskus sallia liikennöinnin kyseisellä osuudella muulla kuin sähkövetokalustolla. Mikäli sähkövetokalusto pystyy rullaamaan paikan ohi virroitin ala-asennossa, voidaan tämä sallia.

Kuljettajan tulee pysäyttää veturi tarvittaessa hätäjarrutusta käyttäen, mikäli veturin katolta kuuluu voimakasta ääntä, ajolanka huojuu epänormaalisti tai veturissa havaitaan oikosulku. Virroitin tulee laskea välittömästi ala-asentoon.

5.4 Virrankulun testaus kontaktihiilen ja ajolangan välillä

Kontaktihiilien virrasta johtuva lämpenemisen testaus uuden virroitinmallin yhteydessä suoritetaan käytännön oloissa standardin EN-50206 mukaan. Tämä on myös EN-standardi, johon tulevassa Kalusto-YTE:ssä viitataan. Paikallaan olevan vetokaluston virroittimeen johdetaan 30 minuutin ajan vetokaluston nimellisvirtaa vastaava virta. Tämän jälkeen virroittimeen johdetaan 30 sekunnin ajan vetokaluston maksimivirtaa vastaava virta. Virran syöttämiseen käytetään johdinta, jonka leveys on 90 % normaalin ajojohtimen leveydestä. Kontaktihiilien tulee olla uudet, mutta niiden pinta käsitellään vastaamaan kevyttä kulumista.

Testin läpäiseminen edellyttää, ettei epänormaalia lämpenemistä esiinny missään virroittimen osassa, ei edes kontaktihiilissä. Kontaktihiilien lämpeneminen tulee mitata mahdollisimman läheltä virran syöttöpistettä. Virran kulun aiheuttamia vikoja ei saa esiintyä missään osassa.

Virroittimen kontaktihiilen mekaaninen kuluminen on hallitsevaa kulumista kesäisin. Talvisin kulumista aiheuttaa eniten kontaktihiilen ja ajolangan välinen valokaari. Kontaktihiilen pinta on jatkuvasti kulutukselle alttiina vetokaluston liikkuesssa. Ajolangan yksittäinen kohta altistuu hetkellisesti kulutukselle.

5.5 Virroittimen kontaktihiilen valokaaresta aiheutuva kuluminen

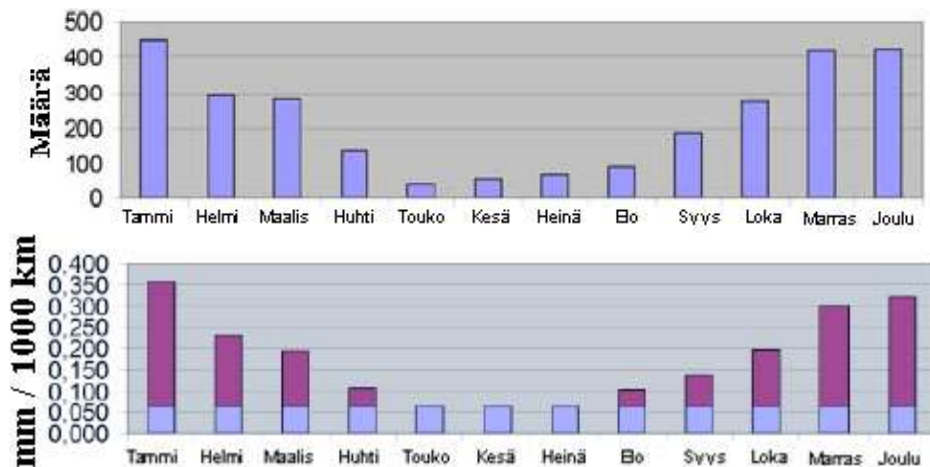
Ruotsissa on tutkittu käytännön mittauksin kontaktihiilen kulumista ja pyritty kehittämään järjestelmää kontaktihiilen kulumisen arvioinnille (Östlund ym. 2008). Kulumisen on havaittu olevan voimakkaimmillaan ajolangan ollessa jään tai huurteen peitossa. Jää ja huurre lisäävät valokaari-ilmiötä ajolangan ja kontaktihiilen välillä. Jää toimii eristimenä pakottaen virran kulkemaan osan matkaa ilmassa ajolangalta kontaktihiilelle. Valokaari voi kulkea myös suoraan alumiiniseen yläkaareen aiheuttaen yläkaaren lämpenemistä.

Valokaari saa aikaan tasavirtakomponentin vaihtovirtajärjestelmään. Mittaamalla tasavirtakomponentin suuruutta ja pitämällä kirjaa kontaktihiilellä ajetuista kilometreistä pystytään kontaktihiilen vaihdontarvetta kenties tulevaisuudessa arvioimaan nykyistä, pelkkiin ajokilometreihin perustuvaa menetelmää paremmin.

Koejärjestely toteutettiin asentamalla junan katolle valovoimaa mittaava laite ja mittaamalla junan ottama vaihto- ja tasavirta. Kokeessa havaittiin, että tasavirtakomponentin suuruus kasvaa mitatun valokaaren aiheuttaman valovoiman kasvaessa. Yhteys ei ole täysin lineaarinen.

Kuvassa 23 on esitetty ruotsalaisen liikennöitsijä Green Cargon kontaktihiilien vaihtomäärät kuukausittain. Kuvasta on havaittavissa, että kontaktihiilien vaihto on monin verroin yleisempää talvisin kuin kesäisin. Valokaaren aiheuttama kuluminen on hallitsevaa talvisin.

Kuvan 23 alemman osakuvan tumman violetti alue kuvaa valokaaresta johtuvaa kulumista. Mekaaninen kuluminen, eli vaaleansininen alue, pysyy melko vakiona ympäri vuoden.

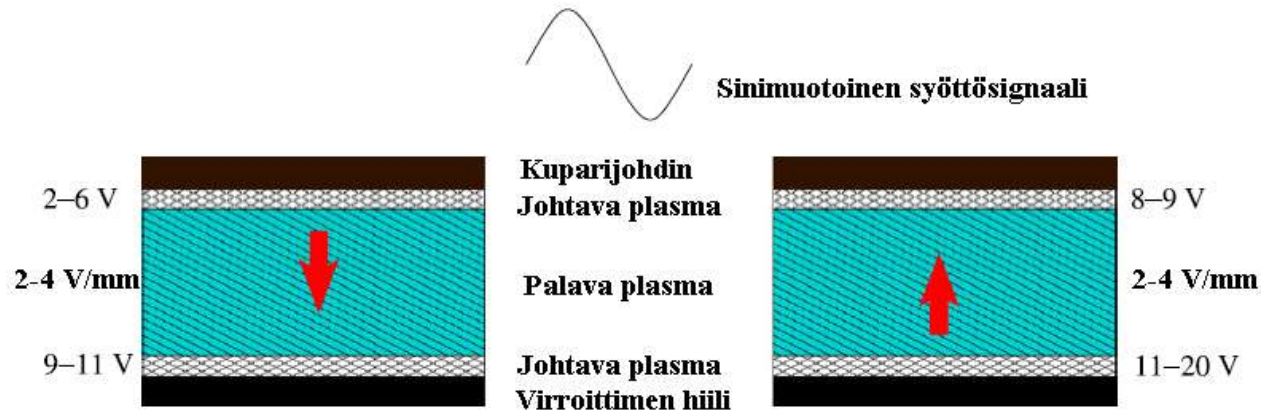


Kuva 23: Ruotsalaisen liikennöitsijä Green Cargon kontaktihiilien vaihto kuukausittain (ylempi osakuva). Green Cargon erään kalustotyypin kontaktihiilien kuluminen millimetreissä per 1000 km (alempi osakuva). (Östlund ym. 2008).

Paksuus, joka edellyttää kontaktihiilen vaihtamista uuteen, on erisuuri kesä- ja talviaikana. VR:n ohjeissa kontaktihiilen paksuudeksi määritellään yli 4 mm välillä huhti-lokakuu ja yli 6 mm välillä marras-maaliskuu (Suuriniemi 2008-2009). Kontaktihiilen suurempi kulumisvara ja tiheämpi tarkastusväli ovat käytäntönä talvisin myös Ruotsissa.

Valokaaren syttyminen ilmakehässä vaatii noin 3000 V/mm:n suuruisen jännite-eron kahden sähköisesti varautuneen pinnan välille. Ilmiöstä käytetään puhekielessä nimitystä läpilyönti. Ajolangassa oleva jääpeite eristää virroittimen ja ajolangan toisistaan mahdollistaen jännite-eron synnyttävän ajolangan ja virroittimen välille. Junan virroittimen ja ajolangan välillä erityisesti talvisin näkyvä ”sininen rätisevä salama” aiheutuu juuri tästä jännite-erosta.

Valokaaren syttyä kulkeutuu virta sitä pitkin. Valokaari ei kuitenkaan ole täydellinen johdin. Valokaareissa aiheutuu jännitteenmuutos, joka on noin 2–4 V/mm ilmassa. Tasavirtakomponentin voimakkuuteen vaikuttavat myös ajolangan ja virroittimen sähkökemialliset ominaisuudet. Ajolanka on yleensä kuparia ja virroittimen ajolankaan kosketuksissa oleva pinta hiiltä. Jännitteen muutos riippuu virran kulkusuunnasta. Asiaa on havainnollistettu kuvassa 24.



Kuva 24: Valokaaresta aiheutuva jännitteen muutos virran kulkiessa eri suuntiin (Midya & Surajit 2008). Virran kulkusuunta on merkattu punaisella nuolella.

Jännite, joka muodostuu virroittimen hiilen ja ajolangan väliin, on riippuvainen syöttöjännitteen polariteetista. Jännite on suurempi negatiivisella jaksolla, jolloin virran suunta on hiilestä ajolankaan päin.

Ajolangassa olevaa jätää pidetään myös virran parillisten yliaaltojen syntyyn vaikuttavana tekijänä. Esimerkiksi Sveitsissä rautateiden raidevirtapiiri toimii 100 Hz:n taajuudella. Ajolangassa olevan jännitteen taajuus on $16 \frac{2}{3}$ Hz. Tällöin syntyvä kuudes yliaalto, joka on 100 Hz, on aiheuttanut talvisin ongelmia esimerkiksi Sveitsin rautateiden liikennöinnille (Buhrkall 2003).

Jääkerrosta voidaan ”simuloida” vähentämällä virroittimen ajolankaan kohdistamaa voimaa. Tämä aiheuttaa vetokalustolla ajettaessa virroittimen hiilen ajoittaisen irtoamisen ajolangasta. Tästä seuraa valokaari.

VR:llä on käytössä virroittimia, joiden kontaktihiili on liimattu yläkaareen kolmessa osassa siten, että niiden väleihin jää pieni viisto rako. Tämä vähentää kontaktihiiliin kohdistuvaa alumiinisen yläkaaren lämpölaajenemisesta kohdistuvaa voimaa.

Virroittimen kulumisen virheellisen nostovoiman johdosta

Virroittimen kontaktihiilen painautuessa liian suurella voimalla ajolankaa vasten kuluvat sekä ajolanka että kontaktihiili ennen aikaisesta mekaanisen kulumisen johdosta. Liian pieni nostovoima aiheuttaa puolestaan virroittimen irtoamisen ajolangasta, mistä seuraa valokaari, joka aiheuttaa sähköistä kulumista.

Mikäli virroittimen nostovoima on niin matala, että virroittimen ja ajolangan väliin pääsee muodostumaan ilmapäli, lyö jännite läpi ajolangasta virroittimeen muodostaen

silmin nähtävän valokaaren. Ilmiö tapahtuu harvoin tasavirtajärjestelmässä. Osasyynä on tasavirtajärjestelmässä virroittimelta vaadittava suurempi nostovoima.

Normaaleissa olosuhteissa virroitin nostetaan ja lasketaan siten, että sähkövetokaluston pääkatkaisija on auki-asennossa. Tällöin pitkään palavaa valokaarta ei synny. Hätälaskulaite eli ADD on suunniteltu siten, että järjestelmän laskiessa virroittimen al asentoon vahingoittumisen seurauksena avautuu myös pääkatkaisija.

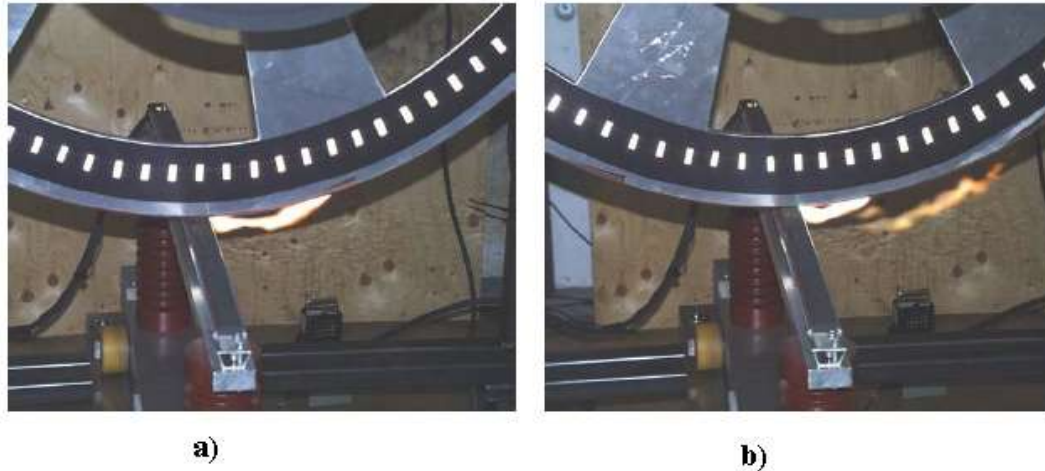
Maailmalla on rakennettu koelaitteistoja virroittimen ja ajolangan välisen vuorovaikutuksen tutkimiseen. Yleensä näissä tutkimuksissa on keskitytty valokaaren aiheuttamien vaikutusten tutkimiseen. Koelaitteistoille on yhteistä se, että valokaari sytytetään jättämällä pieni ilmaväli virroittimen kontaktihiilen ja ajolangan väliin. On huomioitava, että jään vaikutuksen tutkimiseen ei ole kehitetty laboratoriomenetelmää. Tällaiselle menetelmälle on varmasti kysyntää, sillä virroittimen kontaktihiilen kulumisessa jäätyneellä ajolangalla on huomattava osuus.

Useimmat virroittimen ja ajolangan tutkimukseen tarkoitetut testilaitteistot koostuvat pyörivästä ympyrän muotoisesta kappaleesta ja sen edessä olevasta ”kelkan” päälle asennetusta kontaktihiilestä, jota voidaan liikuttaa ympyrän suhteen siten, että saavutetaan haluttu siksak-kuvio. Ympyrän pyörimisnopeudella voidaan säätää ”junan” nopeutta. Kuvassa 25 on esitetty tällaisella testilaitteistolla aikaan saatu valokaari.

Kuvan 25 a-kohdassa on havaittavissa, että valokaari ikään kuin ”kasvaa” ympyrän kehän eli ”ajolangan” liikkeessä virroittimen suhteen. Valokaaren pituudella on havaittu olevan vaikutusta järjestelmässä esiintyvän tasavirtakomponentin suuruuteen. Kuvan 25 tilanteen molemmat osakuvat on saatu aikaan 800 V tasajännitteellä. Molemmissa tilanteissa ”junan nopeus” eli pyörän kehänopeus oli 6,6 m/s.

Kokeella osoitettiin, että valokaari liikkuu ”hyppien” ja aiheuttaa sekä ajolankaan että virroittimeen pistemäisiä jälkiä. Ilmiö on tuttu myös Suomen rautatieympäristössä. Havaittu jännitteen tasakomponentti kasvoi myös ”junan” nopeuden kasvaessa. Tämä selittyy kasvaneella valokaaren pituudella.

Ajolangan yleiskulumisen on todettu olevan suurinta vilkkaasti liikennöityjen raiteiden kiihdytysalueilla (Ratahallintokeskus 2005). Sähkövetokaluston tehon tarve on suurimmillaan kiihdytyksissä. Tällöin myös otettu virta on suurimmillaan, mikä puolestaan vaikuttaa valokaari-ilmiön syntymiseen.



Kuva 25: Valokaaren tutkiminen. Kuvassa a) on palava valokaari. Kuvassa b) palava ja sammumassa oleva valokaari (Bormann ym. 2007).

Pistemäisesti ajolanka kuluu eniten vaihteiden, kannattimien ja ajolangan satunnaisten mutkien kohdalla. Ajolangan kulumista seurataan joka kolmas vuosi. Virroitintiheys huomioidaan mittauspaikan valinnassa. Havaittaessa ajolangan lisääntyntä kulumista suoritetaan mittaus kyseisellä paikalla useammin.

5.6 Virroittimen ja ajolangan vikatilasto vuonna 2007

VR:n toimittamasta materiaalista käy ilmi ajolangan ja virroittimen vauriot vuonna 2007. Vuonna 2007 tapauksia kirjattiin 42 ja vuonna 2008 47 kappaletta. Yksi vauriotapaus ajolangassa, joka on aiheuttanut useamman junan virroittimen vaurioitumisen, lasketaan yhtenä tapauksena. Esimerkkinä vuonna 2007 sattui Helsingin Ratapihalla tapaus, jossa yhteensä viidentoista Sm1 ja Sm2 veturin virroittimen hiili vaurioitui samasta kohdasta iskemävaurion omaisesti. Iskemävaurio on vaurio, jossa kontaktihiileen tulee ”iskemä” tai kolo ratajohtojärjestelmässä olevan vian takia. Syytä etsittiin 3 päivää, kunnes syyksi paljastui vaurioitunut ryhmityseristimen kelkka.

Ajo- ja tukilangasta johtuneita vikatapauksia oli vuonna 2007 yhdeksän kappaletta. Luku ei sisällä ilkivallasta ja puiden kaatumisesta aiheutuneita tapauksia. Erityisesti kannatinlankojen kestävyys on aiheuttanut ongelmia ratajohdoissa. Mainituissa yhdeksässä tapauksessa kannatinlanka oli osallisena vahinkoon neljä kertaa. Ongelmia aiheuttanut kannatinlanka kulkee kaupallisella nimellä CuT-70.

Kannatinlangasta aiheutuneet ongelmat johtuvat osittain langan standardin vastaisuudesta. Kannatinlanka ei ole mahtunut alkuperäisiin kannattimiin, joten sitä on muokattu jälkeinpäin ohuemmaksi (Granlund 2009). Tämä on aiheuttanut punotun

langan säikeiden muodon muuttumisen pyöreistä kulmikkaammiksi. Samalla säikeet ovat ohentuneet, jolloin vedon pysyessä samana joutuu pinta-alaltaan pienempi säie kantamaan saman voiman kuin muokkaamaton, pinta-alaltaan suurempi säie. Osasyynä lankojen kestättömyyteen on ollut myös kannatinlankojen sidosaineena käytetyn kadmiumin käytön kieltäminen.

Vuonna 2000 asennetut Cut-70 tyyppiset tukilangat ovat vaihtotyön alla muun muassa Turku-Toijala-välillä. Alkuperäinen tavoiteikä kestävyydelle oli 40 vuoden luokkaa.

Puu kaatui ajolangan päälle viisi kertaa vuonna 2007. Ilkivaltatapauksia oli yksi kappale. Kuorma-auto ajoi lankoihin kerran lava ylhäällä aiheuttaen vaurion. Eksoottisin vauriotapaus lienee rankkasateesta johtuvan veden valuminen ylikulkusillalta ratajohtoon. Tämä aiheutti valokaaren, joka katkaisi ratajohdon.

Virroittimen vaurioitumiseen johtanut vika syntyi vetokaluston liikkua 16 kertaa vuonna 2007. Kaksi kertaa vaurion luonne oli sellainen, että se aiheutti useamman virroittimen vaurioitumisen, ennen kuin vian aiheuttaja pystyttiin paikallistamaan. Vikojen luonne vaihtelee jännitteettömälle tai langattomalle rataosuudelle ajamisesta virroitin ylhäällä aina aukean tilan ulottuman sisällä roikkuvan ajolangan ohjaimen aiheuttamiin vaurioihin.

5.7 Ajolangan jäätyminen

Ruotsissa suoritettussa kokeessa havaittiin jään ja huurteen muodostumisen ajolankaan olevan voimakkaimmillaan jokilaaksoissa ja metsän keskellä. Avoimilla rataosuuksilla huurretta ja jäätä muodostui vähän jos ollenkaan. Jää ja huurre ovat virroittimen sähköisen kulumisen merkittävimpiä aiheuttajia.

Perusedellytyksenä jään muodostumiselle kappaleen pinnalle on, että kappaleen pintalämpötila on alle 0°C:n ja ympäröivän ilman kastepisteen (Buhrkall 2003). Kastepiste on lämpötila, jossa veden tiivistyminen ja haihtuminen ovat tasapainossa. Ilman suhteellinen kosteus on tällöin sata prosenttia. Kastepisteen ollessa alle 0°C rupeaa höyryn tiivistymisestä kappaleen pinnalle muodostumaan suoraan jäätä ilman nestemäistä välivaihetta. Ilmiötä kutsutaan härmistymiseksi.

Sopivat olosuhteet jään muodostumiselle ajolankaan syntyvät talvisin yleensä kahdella tavalla. Ensimmäisessä tapauksessa ilman kosteus on suhteellisen korkea illalla. Taivaan selkiintyessä yöksi ilman lämpötila laskee nopeasti ilmakehään karkaavan lämpösäteilyn johdosta. Toisessa, kirkkaan taivaan tapauksessa, hidas tuuli voi kuljettaa kosteaa ilmaa alueelle jossa ilman lämpötila on pakkasen puolella. Kosteaa ilmaa voi tulla esimerkiksi mereltä puhaltavan tuulen mukana.

6 VALOKUVAUSLAITTEISTO

Sensys-yhtiön valmistaman Automatic Pantograph Monitoring Systemin (APMS:n) toiminta perustuu virroittimesta otetun valokuvan analysointiin. Mikäli laitteisto huomaa omien automaattisten toimintojensa avulla, että virroitin on vahingoittunut, annetaan kuvasta eteenpäin hälytys, johon ihmisen tulee reagoida. Laitteiston epäilemä vauriokohta on merkitty kyseiseen kuvaan.

Huhtikuussa 2009 Liminkaan asennettu testilaitteisto lähettää ottamansa kuvat Sensysille Ruotsiin. Alkuvaiheessa, jolloin järjestelmän toimivuutta ja sopivia parametreja etsitään, varsinaisen ilmoituksen rikkoutuneesta virroittimesta tekee Sensysin henkilökunta tarkastettuaan ensin, onko laitteiston antama hälytys aiheellinen. Tässä vaiheessa ilmoituksen saanti kestää 10 min – 24 h (Hallingberg 2008). Syynä mahdolliseen pitkään aikaan on, ettei Sensysillä ole osoittaa henkilöstöä istumaan ympäri vuorokauden tutkien saapuvia kuvia. Tulevaisuudessa laitteiston siirtyessä täysin automaattiseksi tulee tehdä päätös sen suhteen, halutaanko hälytys aina, kun esiintyy pienikin epäily viallisesta virroittimesta, vai riittääkö, että herkkyys on hieman matalampi. Tämän parametrin valinta vaikuttaa turhien hälytysten määrään, joka ei saa olla liian korkea häiriten liikenteenohjauskeskuksen työtä tarpeettomasti.

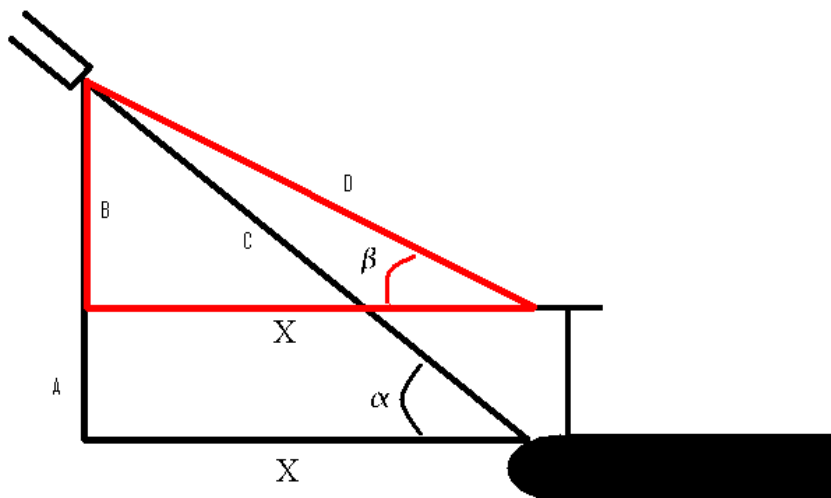
6.1 Tutka

Sensysin toimittamassa materiaalissa on esitetty APMS-laitteiston toimintaa ja kokoonpanoa (Sensys Traffic Ab 2008). Laitteisto havaitsee junan tutkan avulla. Tutkan avulla määritetään saapuvan kohteen nopeus, etäisyys ja kulkusuunta. Sensysin omaa valmistusta oleva tutka, mallia RS240-LD, tarjoaa myös raporttiin liitettävän kellonajan. Tutka pyrkii etsimään tunnistettavia kohteita junasta, kuten keulan, erilaiset ulokkeet ja vaunujen etuseinät.

Tutka ryhtyy seuraamaan käytössä olevaa virroitinta noin sadan metrin päästä. Koska junan ulkomuoto tunnetaan ja käytetyt signaalinkäsittelytekniikat ovat tiedossa, pystytään kameran laukaisu ajoittamaan siten, että virroitin on oikealla etäisyydellä kamerasta. Johtuen kuvattavan kohteen nopeudesta tulee laukaisun tapahtua tarkasti oikealla hetkellä.

Koska virroitin on noin kaksi metriä korkeammalla kuin junan keula, on virroittimen tutkalla mitattu nopeus lyhyillä etäisyyksillä APMS-laitteistosta suurempi kuin junan keulan. Ilmiö johtuu kosiniefektistä. Tätä voidaan käyttää apuna virroittimen tunnistamisessa. Kuvassa 26 on esitetty graafisesti, miten kohteen vertikaalinen ero

tutkaan nähdessä vaikuttaa kulmaan, josta mitattu nopeus muodostetaan (Sensys Traffic Ab 2008; Scientific American 2001).



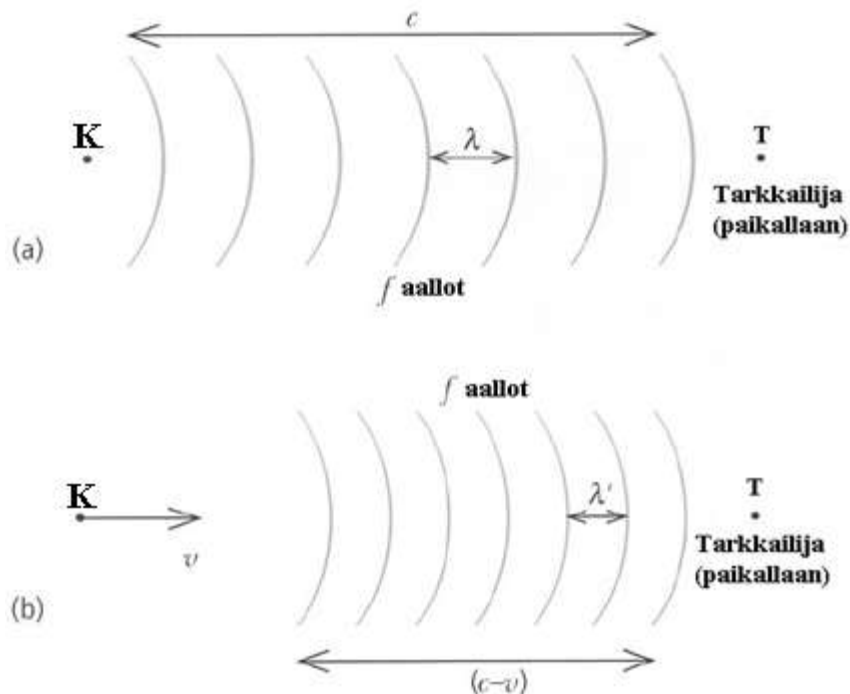
Kuva 26: Kosiniefektin geometrinen tausta.

Kuvassa 26 muuttuja X eli keulan ja virroittimen horisontaalinen etäisyys tutkaan oletetaan samaksi. A on keulan vertikaalinen etäisyys tutkasta ja B virroittimen vastaava etäisyys. A ja B oletetaan vakioiksi. C ja D vastaavat keulan ja virroittimen suoraa etäisyyttä tutkaan. Kulma β on pienempi kuin kulma α . Mitattu nopeus on

$$v_m = v_t \cos \gamma. \quad (3)$$

Voidaan päätellä, että mitä suurempi kulma γ tutkan ja vaakatason välissä on, sitä hitaammalta nopeus v_m näyttää vaikka kohteen todellinen nopeus v_t pysyy samana. APMS-järjestelmä käyttää kosiniefektiä kameran oikea-aikaisen laukaisun apuna.

Järjestelmä käyttää myös Doppler-ilmiötä junan nopeuden määrittämisen apuna. Kohteen lähestyessä havaitsijaa näyttää kohteesta lähtenyt aalto suurempitaajuiselta, kuin paikallaan olevasta kohteesta heijastunut aalto. Myös APMS-järjestelmän tutkan tekemät mittaukset perustuvat siihen. Kuvassa 27 on esitetty Doppler-ilmiön periaate graafisesti (Webb 2003).



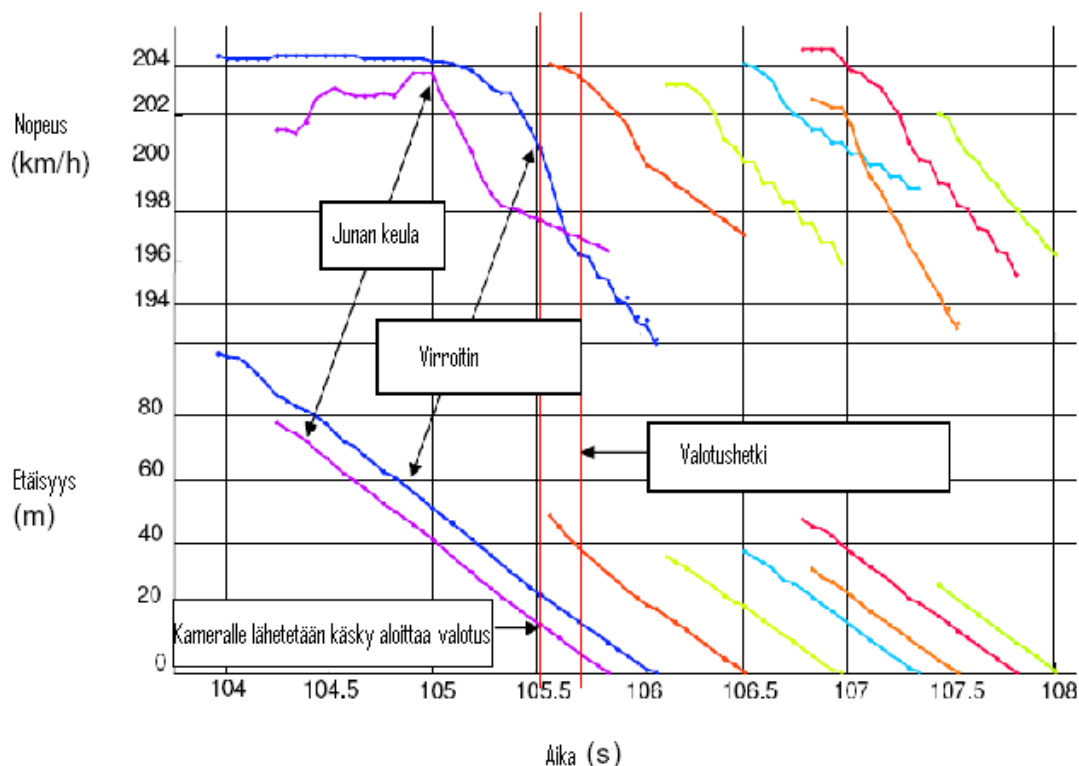
Kuva 27: : Kohteesta K heijastuneen aallon aallonpituuden käyttäytyminen suhteessa paikallaan olevaan tarkkailijaan T; a) kohde K on paikallaan; b) kohde K liikkuu. APMS-järjestelmän tapauksessa tarkkailijana T toimii tutka, joka myös lähettää kohteesta takaisin heijastuvan aallon. Vain takaisin heijastunut aalto on esitetty kuvassa.

Kuvasta 27 havaitaan, että tarkkailijaa kohti tulevasta kohteesta heijastunut aalto on aallonpituudeltaan lyhyempi ja suurempitaajuinen, kuin paikallaan olevasta kohteesta heijastunut aalto. Kun juna lähestyy tarkkailijaa, junasta heijastuneen aallon taajuus on

$$f_{havaittu} = \frac{c}{c - V_{juna}} f_{tutka} \quad (4)$$

missä V_{juna} on junan nopeus, f_{tutka} on tutkan lähettämän signaalin taajuus ja c on valon nopeus. Junan nopeus V_{juna} voidaan laskea tunnettaessa muut kolme tekijää. APMS-järjestelmän tutka toimii 24 GHz:n taajuudella. Tutkan avulla saadaan selville myös junan etäisyys ja kulkusuunta.

Kuvassa 28 on esitetty tutkan havaitsemat heijastukset junasta. Junan keulan ollessa noin 40 metrin päässä tutkasta alkaa virroittimen ja keulan välillä muodostua nopeuseroa kosiniefektin johdosta.



Kuva 28: Tutkan havaitsemat heijastukset junasta. Hetkellä 105 s virroittimen ja junan keulan nopeuksien välinen erotus kasvaa kosiniefektistä johtuen. Junan etäisyys saadaan tutkan avulla. Muut kuvassa näkyvät heijastukset ovat vaunujen etureunojen heijastuksia (Sensys Traffic Ab 2008).

6.2 Kamera ja virroittimen paikallistaminen kuvasta

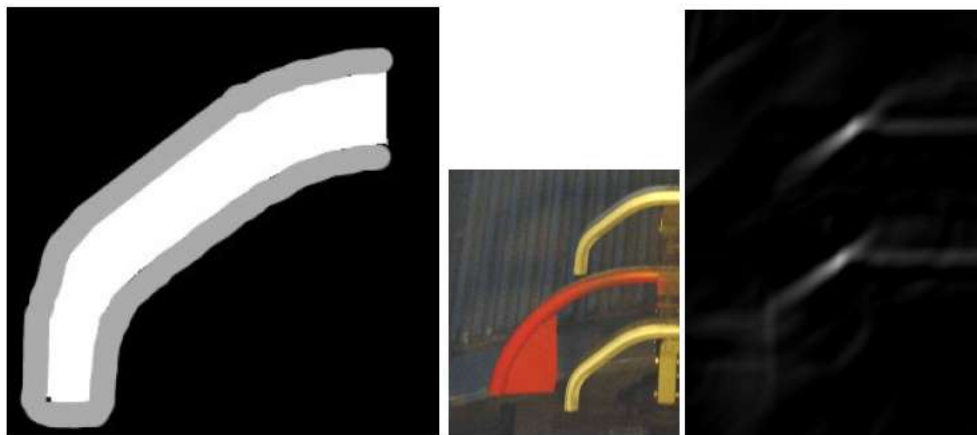
Kameran resoluutio on 12,4 megapikseliä. Kameran herkkyys mahdollistaa lyhyen valotusajan, mikä vähentää liikeseurantausta junan vauhdin ollessa suuri.

APMS sisältää erillisen salamalaitteen. Salamalaite Acute 2 sisältää aggregaatin ja salamavalon. Salamavalon valaisee 30° kulman. Laite antaa salamavalolle energiaa 1200 Ws 0,4 ms:n aikana. Salamalaitteen latausaikaa on lyhennetty laitteiston kehityksen myötä. Tämä mahdollistaa useammalla virroittimella ajettaessa kaikkien virroittimien kuvaamisen. Esimerkiksi raskaita pellettijunia ajetaan kolmella sähköveturilla, joissa kaikissa on virroitin ylhäällä. Syynä kolmen veturin käyttöön ei ole tehon tarve vaan suurempi kitkapaino.

Kameran vääräaikaisesta laukaisemisesta voi aiheutua pahimmillaan kuljettajan sokaistuminen. Tämän johdosta salamavalo on varustettu oranssin värisellä suodattimella, joka suodattaa sinisen ja sinivihreän valon. Suodattimen alarajana on 520 nm.

Esimerkiksi ylikulkusillalle asennettu laitteisto ottaa kuvan junan virroittimesta noin 5 m:n etäisyydeltä. Virroittimen tunnistaminen kuvasta tapahtuu Fourier-korrelaatiota käyttäen. Laitteen muistissa on erimallisia yläkaaren sarven muotoja. Näitä malleja verrataan otetun kuvan versioon, josta on muodostettu mustavalkoinen kuva, Fourier-korrelaation avulla. Alueet, joista löytyy saman muodon omaavia kohteita kuin käytetty sarven malli, näkyvät kuvassa vaaleampina kohtina. Itse kontaktihiili jää sarvien rajaaman alueen väliin. Asia on esitetty kuvassa 29.

Kun tiedetään alue, jolla virroittimen hiili sijaitsee, ryhdytään virroittimen sarvien väliseltä alueelta etsimään reunoja. Järjestelmän tulee löytää neljä reunaa, jotta virroittimen kunnon analyysi onnistuu. Kuvassa ylimpänä haluttuna reunana on hiilen takareuna. Hiilen etureuna on toisena ylhäältä. Kolmantena ylhäältä on hiilen ja alumiinisen yläsarven rajakohta. Viimeinen havaittava reuna on alumiinisen yläsarven alareuna. APMS-järjestelmä merkitsee löytämänsä reunat vihreillä pisteillä, kuten kuvassa 30 on esitettyä. Tässä vaiheessa on havaittuna myös ylimääräisiä reunoja.



Kuva 29: Fourier-korrelaation graafinen selitys. Vasemmalla sarven malli, keskellä kuva johon verrataan ja oikealla Fourier-korrelaation tulos (Sensys Traffic Ab 2008).



Kuva 30: Virroittimen neljän eri reunan havaitseminen. Havaitut reunat merkitään vihreillä pisteillä. Tässä vaiheessa APMS-järjestelmä tarkastelee kaikkia sarvien välissä olevia reunoja, ei vain haluttua neljää (Sensys Traffic Ab 2008).

Kun kuvasta on tunnistettu reunat, etsitään siitä kaarevat muodot. Näiden muotojen tulee sijaita siten, että ne päättyvät havaittuihin sarviin.

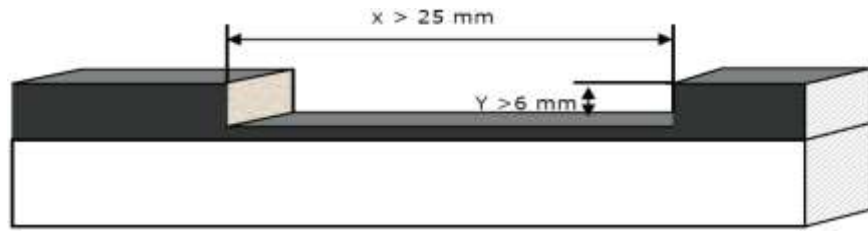
Seuraavaksi järjestelmä ryhtyy tutkimaan reunojen 1 ja 3 välisen alueen värieroja. Alueet, joilla hiili on ehjä, ei esiinny värieroja. Alueet joilla on värieroja, ovat alueita joissa hiili on mitä todennäköisimmin vaurioitunut. Kuvassa 31 on esitetty vaurioitunut hiili APMS:llä kuvattuna.

Neljäs löydetystä reunoista, eli virroittimen alumiinikaaren alin reuna, muuttaa myös hieman sädetään kun sen yläpuolella oleva hiili murtuu. Tätä säteen muutosta voidaan käyttää myös apuna viallisia virroittimia tunnistettaessa.

Banverketin käyttämä APMS-järjestelmä antaa varoituksen, mikäli toinen yläkaarista puuttuu tai kontaktihiilessä on yli 25 mm leveä ja 6 mm syvä lohkeama. Kuvassa 32 on esitetty Banverketin järjestelmässä käytetyt rajat. Näiden rajojen säätäminen vaikuttaa myös järjestelmän antamien väärin positiivisten määrään. Väärällä positiivisella tarkoitetaan tulosta, jolloin järjestelmä antaa hälytyksen vioittuneesta virroittimesta, vaikka virroitin on ehjä.



Kuva 31: Vaurioitunut virroittimen kontaktihiili APMS-järjestelmällä kuvattuna.



Kuva 32: APMS-laitteisto antaa hälytyksen, mikäli kontaktihiilessä olevan vaurion mitat ovat kuvassa esitetyjä arvoja suurempia. Kuvan arvot ovat Ruotsissa käytössä olevan järjestelmän käyttämiä raja-arvoja.

Banverket on ohjeistanut liikenteenohjausta pysäyttämään junan, jossa havaitaan tai epäillään olevan rikkoutunut kontaktihiili. Virroittimen kunto tarkastetaan ulkoisesti. Junan tulee vaihtaa aktiivista virroitinta, mikäli pysäytetyn junan virroitin on todellakin vaurioitunut. Tulevaisuudessa kalustoyksiköiden tunnistaminen Suomessa helpottuu niin sanotun RFID-järjestelmän käyttöönoton myötä.

Sähkövetokalusto on varustettu kahdella virroittimella. Normaalisti sähkövetokalustoa ajetaan takimmainen virroitin aktiivisena eli ylhäällä. Tällä järjestelyllä virroittimen mahdollisesta rikkoutumisesta johtuva ”romun” lentäminen ei vahingoita toista virroitinta.

APMS-järjestelmä kykenee laukaisemaan salamansa kolmesti sekunnin aikana. Tämä järjestelmä mahdollistaa ns. tupla-Pendolinojen kuvaamiseen eli Pendolinojen, joita ajetaan kaksi Pendolinoa yhteen kytkettynä molemmat virroittimet ylhäällä. Mikäli junaa ajetaan molemmat virroittimet ylhäällä, tulee virroittimien välimatkan olla riittävän suuri. Tällöin tulee varmistua myös siitä, että virroittimet ovat sähköisesti erillään toisistaan. Tällä estetään kahden eri vaiheessa mahdollisesti olevan syöttöaseman kytkeytyminen yhteen syöttöasemien välisellä rajalla.

Kahdella virroittimella ajettaessa tulee testein varmistaa myös riittävä virranottokyky. Vaatimus testauksesta johtuu siitä, että takimmainen virroitin kohtaa ajolangan, joka on liikkeessä ensimmäisen virroittimen siihen kohdistaman voiman takia.

6.3 Tietoliikenne ja virranotto

APMS-laitteiston kytkeminen internettiin tapahtuu RHK-netin kautta. Järjestelmän toimittavalle Sensysille on luotava etähallintamahdollisuus laitteiston säätämistä ja ohjelmistopäivityksiä varten.

Tiedonsiirto ulkomaailmaan päin tapahtuu Ethernet-liitännän kautta. Laitteen eri osakokonaisuuksien välinen sisäinen kommunikointi tapahtuu useammalla eri toteutus-

arkkitehtuurilla, kuten USB:n ja CAN-väylän välityksellä. Ulkoinen päätelaite kytketään RS-232-liittimen välityksellä.

Laitteiston tehon saanti toteutetaan viisijohtimisella kolmivaihejärjestelmällä. Järjestelmään kytketään kaksi vaihetta. Yksi vaihe menee salamavalon aggregaatille. Yksi 230 voltin vaihe antaa tehon järjestelmän muille osille. Kolmatta vaihetta ei kytketä. Neutraali ja suojamaa kytketään laitteen metalliseen koteloon.

6.4 APMS-laitteiston asennus

Asennuksessa tulee ottaa huomioon laitteiston toimintaperiaatteiden asettamien vaatimusten lisäksi huoltoon ja mahdolliseen ilkivaltaan liittyvät tekijät. Sensysin henkilökunta on oleellisessa roolissa sopivan asennuspaikan valinnassa. Ilkivaltaa pystytään torjumaan asentamalla laitteisto mahdollisimman huomaamattomasti ylikulkusillalle. Kuluja pystytään karsimaan valitsemalla paikkoja, joissa on valmiiksi sähköistykseen ja tietoliikenneyhteyksiin vaadittavaa tekniikkaa lähettyvillä.

Sensysin suosituksen mukaan asennuspaikan tulee olla sellainen, että laitteistossa oleva tutka tulee raiteen keskelle, 2,7–3,5 m ajolangan yläpuolelle. Ajolankojen radan vieressä olevien tukirakenteiden tulee olla vähintään kahdeksan metrin etäisyydellä laitteistosta. Myös vilkas liikenne radan suuntaisesti lähellä rataa saattaa häiritä tutkan toimintaa.

Laitteisto pyritään asentamaan jo rakennetuille radan ylittävälle silloille. Kävelytien puoleinen asennus helpottaa mahdollisia tulevia huoltotöitä. Sillan tulee olla mahdollisimman tarkasti 90 asteen kulmassa rataa nähden. Tämä vaatimus voidaan täyttää myös erillisellä asennukseen käytettävällä telineellä, kuten Limingassa tehtiin. Radan tulee olla suora junan saapumissuunnassa, jotta tutka pystyy lukittautumaan luotettavasti. Lisäksi on suotavaa, että paikalla on vain yksi ajolanka. Kuvassa 33 on esitettynä asennettu ja toiminnassa oleva APMS-laitteisto. Kuvassa näkyvä lippa ei kuulu järjestelmään.



Kuva 33: Ylikulkusillan kosketussuojaseinämään asennettu APMS-laitteisto. Vasemmalla tutka, keskellä oranssilla suodattimella varustettu salamalaite, oikealla kamera.

Tulevaisuudessa asennettavien laitteistojen asennuksen suositellaan tapahtuvan niin kutsuttuun kosketussuojaseinämään. Kyseinen elementti on kuvassa 33 näkyvä vinosti sillasta ulospäin oleva ”seinä”.

6.5 Kaapelointi sähköradan läheisyydessä

APMS-järjestelmä vaatii toimiakseen sähkö- ja tietoliikennekaapeloinnin. Sähköradan läheisyydessä tapahtuvissa kaapelointitöissä ohjeistaa RHK:n julkaisu ”Yleisohje johdoista ja kaapeleista Ratahallintokeskuksen alueella, Ratahallintokeskuksen julkaisuja, B13” (Lepistö ym. 2004).

Asennettaessa sähkö- tai telejohtoja sähköradan läheisyyteen tulee ottaa huomioon sähköradasta mahdollisesti aiheutuvat oikosulkuvirrat ja maapotentiaalit, jotka saattavat vaarantaa omaisuuden tai hengen. Myös rautateiden sähköisten apulaitteiden tulee toimia häiriöttömästi kaapeloinnista huolimatta. Ensisijaisesti tulee pyrkiä välttämään johtojen sijoittamista rautateiden alueelle. Mahdolliset tulevat rautateiden sähköistykset tulee huomioida johtojen sijaintipaikkaa suunniteltaessa.

25 kV:n ja 2×25 kV:n sähköratajärjestelmän paluuvirta kulkee osan matkaa ratakiskoja pitkin. Kuormitus- ja vikapaikan ympäristössä kiskopotentiaali nousee. Potentiaali leviää

radan läheisyydessä oleviin metallisiin rakenteisiin joiden etäisyys radasta on alle 5 metriä raiteen keskeltä. Myös ympäröivä maa ja rakenteet, jotka on maadoitettu kiskoon, kokevat potentiaalin nousun.

Radan läheisyyteen asennettavat kaapeloinnit on suojattava mahdollisia häiriöpotentiaaleja vastaan. Kaapeleiden uloimman vaipan tulee olla vähintään 1,4 mm paksua muovia. Tällä pyritään estämään häiriön leviäminen rautatiealueen ulkopuolelle. Rautatiealueella tarkoitetaan RHK:n hallussa olevaa maa-aluetta.

Jos radan kanssa samansuuntaisen kaapelin vieressä kulkee maadoitusjohdin, tulee etäisyyden paluukiskon maadoitetuista osista olla kaksikymmentä metriä. Mikäli asennus suoritetaan kaapelikanavaan tai putkitukseen, ei tätä minimietäisyyttä tarvitse noudattaa. Tietoliikennekaapelointi on pyrittävä tekemään sähköä johtamatonta kuitukaapelointia käyttäen.

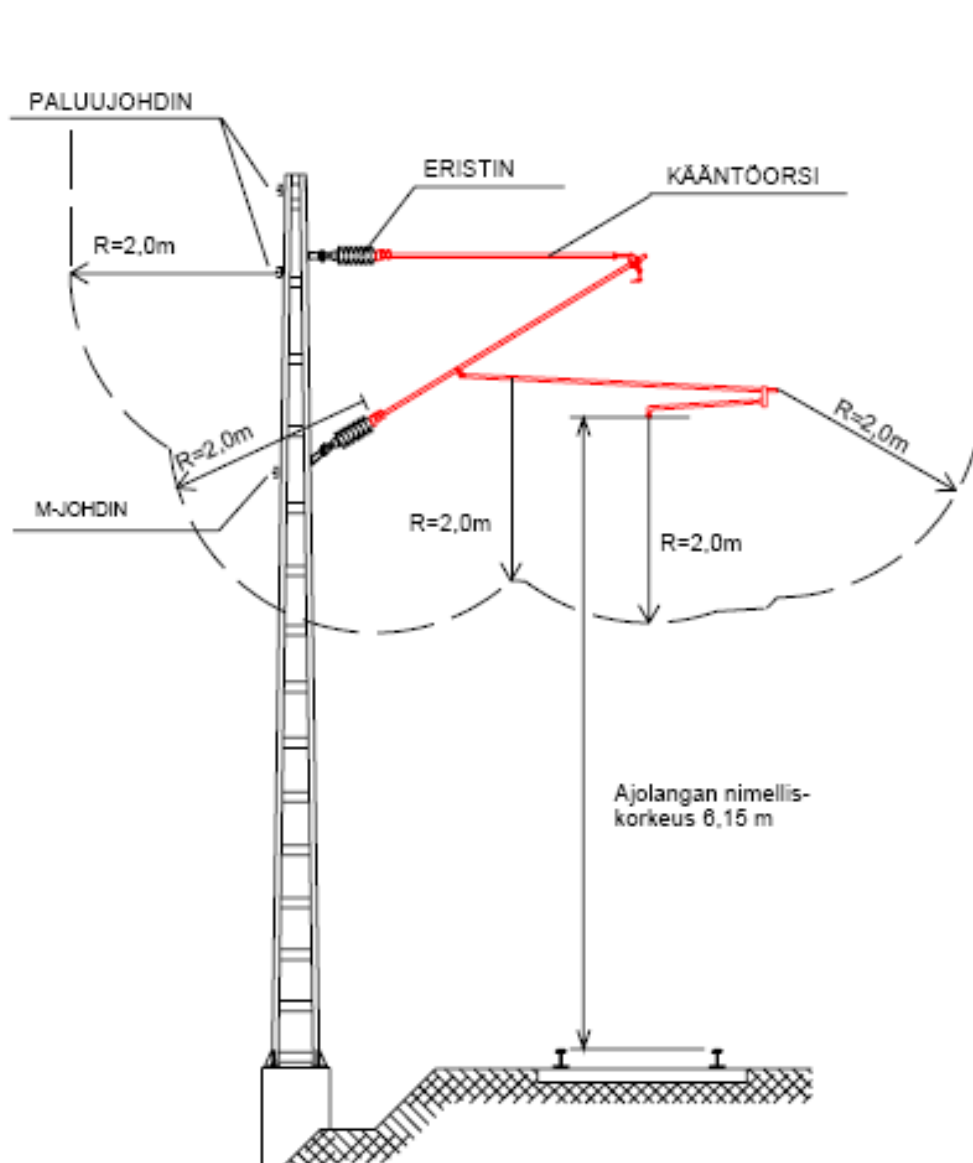
Rataa risteävän kaapelin asennus tulee tehdä kanavaan tai putkeen siten, että mahdolliset tulevat kaapelin vaihtotyöt eivät vaadi radan auki kaivamista. Putken päiden tulee ulottua RHK:n maa-alueen rajalta rajalle. Mikäli edellä mainittu ei ole mahdollista jostain syystä, tulee putken suun etäisyyden olla vähintään 2,9 m radan keskilinjasta. Putki tulee asentaa mahdollisimman tarkasti kohtisuoraan radan kulkusuuntaan nähden. Asennussyvyyden mitattuna kiskon alapinnasta tulee olla 1,4 m.

Mikäli samasta alituskohdasta viedään yksi tai kaksi putkea radan alitse lävistämällä, ei erityistoimenpiteitä vaadita. Kolmen tai useamman kaapeliputken vieminen edellyttää betonista tai teräksistä suojaputkea. Viestintäkaapelien ja pienjännitejohtojen vieminen radan ylitse onnistuu vain erikoistapauksissa.

Radan läheisyydessä kulkevat kaapelit tulee merkitä merkkipaaluin kaapeloinnin suunnan muutoksen kohdalla ja suorilla osuuksilla sadan metrin välein. APMS-järjestelmän kannalta oleellisia merkitsemissäntöjä ovat merkkitolpan yläosan maalaaminen valkoiseksi telekaapelin kohdalla ja keltaiseksi pienjännitekaapelin tapauksessa. Täytettäessä kaapeliojaa tulee kaapeloinnin yläpuolelle asentaa ojansuuntainen varoitusnauha. Nauha ilmoittaa mahdollisille tulevien urakoiden tekijöille alla olevasta kaapelista.

Aukean tilan ulottuma (ATU) on alue, joka on jätettävä vapaaksi junan ympärille. ATU on ”putki” jonka juna vaatii ympärilleen. Kuva ATU:sta on liitteessä 3.

Työskenneltäessä ratajohdon läheisyydessä ilman jännitekatkoja tulee noudattaa erityistä huolellisuutta etäisyyden pitämiseksi vähintään kahden metrin suuruisena jännitteisiin osiin. Ratajohto käsittää ajo- ja mahdollisen paluu- tai vastajohtimen (Ratahallintokeskus 2006). Myös näitä tukevat kannatusrakenteet ja varusteet luetaan ratajohdon osaksi. Kuvassa 34 on esitetty RHK:n ilmoittamat minimietäisyydet ratajohdon jännitteisiin osiin 25 kV:n järjestelmässä. 2×25 kV:n järjestelmässä on jännitteinen vastajohtin, joka kulkee eristettynä I-pylväistä ajojohtimen rinnalla.



Kuva 34: Tehtävään opastetun henkilön pienin etäisyys ratajohdon jännitteisistä osista 25 kV:n järjestelmässä (Ratahallintokeskus 2006).

Ajolangan nimelliskorkeudeksi ilmoitetaan 6,15 m. Ajolangan alapuolella työskentelevän koneenkuljettajan ei tule kuitenkaan säätää esimerkiksi kauhansa suurinta nostokorkeutta 4,15 m:iin, sillä ajolangan korkeus saattaa poiketa nimelliskorkeudesta.

6.6 Tulevien virroitinvalvontalaitteistojen asennus

Virroitinvalvontalaitteiston asennuksen sujuvuutta voidaan helpottaa tulevaisuudessa soveltamalla testilaitteiston asennuksen yhteydessä opittuja asioita. Alla on esitetty eräitä virroitinvalvontalaitteiston asennusprojektin varrella oleelliseksi havaittuja asioita. On syytä korostaa, että ohjeet ovat yleispätevät eivätkä sidottuja mihinkään tiettyyn valmistajaan.

Aivan aluksi RHK:n tulee valita maantieteellinen alue, jolle virroitinvalvontalaitteisto asennetaan. Kun sopivan sillan uskotaan löytyneen, tulee valmistajaan ottaa yhteyttä ja pyytää heiltä varmistus, että silta on sopiva. Varmistamalla sillan sopivuus valmistajalla taataan, että lupia ja muita asioita ei ryhdytä hoitamaan myöhemmin sopimattomaksi osoittautuvalle sillalle.

Kun sopiva silta on löydetty ja varmistettu sopivaksi valmistajan puolesta, tulee sillan rakenteisiin mahdollisesti tehtäville muutostöille hakea lupa tiehallinnolta. Käytännössä tämä tarkoittaa luvan anomista kosketussuojaseinämien asennuksille. RHK omistaa junanradan ylittävien siltojen kosketussuojaseinämät, mutta tielaitos omistaa itse sillan.

Laitteiston sähkön saanti voidaan toteuttaa vetämällä laitteistolle viisijohdinjärjestelmällä kaapeli jo olemassa olevasta liittymästä tai avaamalla laitteistolle oma liittymä. Sähkö voidaan ottaa myös ajojohtimesta erillisen muuntajan avulla.

Tietoliikenteeseen ja virranottoon liittyvien lupahakemusten käsittelyyn tulee varata riittävästi aikaa. Tietoliikenne pystytään toteuttamaan langattomasti tai kaapeloimalla. Kyseessä on normaali ADSL-tekniikkaan perustuva liittymä. Mahdolliset kaapelointityöt on edullisempaa tehdä silloin, kun maa ei ole roudassa.

Kosketussuojaseinämään kiinnitettävän telineen tulee olla valvontalaitteistolle soveltuva. Tällainen teline suunniteltiin, rakennettiin ja asennettiin virroitinvalvontalaitteiston koekäytön yhteydessä Liminkaan. Sama telineratkaisu soveltuu asennettavaksi myös mahdollisiin uusiin virroitinvalvontapaikkoihin.

APMS-laitteen asennustelineen on rakentanut VR-Rata Oy Oulussa. Yhtiön edustajat ovat ilmaisseet halukkuutensa olla osallisina myös muualle Suomeen mahdollisesti asennettavien laitteistojen asennuksessa.

VR-Radan toteuttama teline on varustettu APMS-laitteistoa sateelta ja lumelta suojaavalla alumiinisella lipalla. Liminkaan asennettu teline on myös tukevasti asennettu ja pintakäsitelty korroosiota vastaan. Asennustelineiden hankkimista tulevaisuudessa VR-Radalta puoltavat myös kertaalleen maksetut suunnittelukustannukset.

6.7 Asennuspaikan valinta

Mikäli virroitinvalvontalaitteistoja hankitaan useampi kappale Suomeen, tulee laitteistot pyrkiä asentamaan siten, että mahdollisimman suuri osa kalustosta tulee kuvattua ja analysoitua.

Ruotsissa on käytössä kymmenen APMS-laitteistoa. Nämä laitteistot on asennettu siten, että jokaisessa valvontapaikassa on kaksi laitteistoa. Tällä järjestelyllä pystytään kuvaamaan molempiin suuntiin matkaavat junat. Kaksiraiteisella radalla laitteisto kuvaa vain oletettuun ajosuuntaan kulkevan kaluston.

Tukholmassa on päädytty ratkaisuun, jossa kamerat on asennettu taajama-alueelle. Mahdollisen ilkeivallan lisäksi tällöin tulee huomioida laitteiston toimintaan liittyvä kirkas salamavallo. Tukholmassa tästä onkin tullut valituksia valvontapaikan vieressä sijaitsevan toimiston henkilökunnalta, minkä johdosta laitteisto on jouduttu kytkemään pois toiminnasta siksi aikaa, kunnes siihen on saatu asennettua tarkemmin suuntaava salama. Tämän uuden salaman valaisema kulma on noin 30° ensimmäisen version 50° sijaan. Myös Suomeen asennettava laitteisto on varustettu kapeampaan kulmaan aukeavalla salamalla.

Tukholman taajama-alueelle asennetun laitteiston etuna on sen sijainti ns. kokooma-aseman edustalla. Tämä asema on Tukholman keskusrautatieasema, jonka eteläpuolelle laitteisto on asennettu. Laitteisto kuvaa etelästä saapuvat ja etelään lähtevät junat. Kaikki Tukholmaan etelästä saapuva ja etelään lähtevä liikenne kulkee kyseisen kohdan ohi. Asennuspaikka on esitetty kuvassa 35.



Kuva 35: 500 metriä Tukholman keskusrautatieaseman eteläpuolelle asennettu APMS-laitteisto. Kuvassa vasemmalla diplomi-insinööri Seppo Mäkitupa (RHK).

Asennuspaikan tulisi olla sellainen, että ilkvallasta aiheutuvat vahingot saadaan minimoitua. Sensysin henkilöstön toiveena on myös, että asennuspaikan vieressä ei kulkisi autoliikennettä radan suuntaisesti, sillä tämä saattaa häiritä tutkan toimintaa.

Laitteiston asennusta taajama-alueelle tulee harkita myös Suomessa, vaikka alun perin tätä ei kovin hyvänä ideana pidettykään. Mikäli jokin asema pystyy tarjoamaan erityisen kokooma-aseman edun kuten Tukholman keskusrautatieasema, tulee tällaista paikkaa harkita virroitinvalvontalaitteiston sijoituspaikaksi.

Ruotsissa asennuspaikan valitsemisen voi jakaa karkeasti kahteen eri tekijään perustuvaksi:

-Pohjois-Ruotsissa rautamalmikuljetusten sujuva liikkuminen pyritään takaamaan kuvaamalla sekä länteen Norjan rajalle suuntautuva liikenne että etelään suuntaava liikenne. Myös näistä suunnista saapuva liikenne kuvataan. Ylipäätänsä reitin tärkeys vaikuttaa asennuspaikan valintaan.

-Banverketillä on olemassa kartta, johon on merkitty paikat, joissa ajolanka on aiheuttanut ongelmia. Asennuspaikan valinnassa kuullaan sähköradan ajo- ja tukilankojen kunnosta vastaavia tahoja.

Suomeen asennettavien laitteiden yhteydessä on hyvä miettiä myös olosuhteita, joista junat tulevat ja joihin ne menevät. Haastattelujen ja kirjallisuuskatsauksen perusteella työssä on havaittu, että huurteinen tai jäinen ajolanka on erityisen kuluttava virroittimen hiilelle valokaari-ilmiön johdosta. Valokaari ”hyppää” ajolangasta suoraan hiileen tai alumiiniseen yläkaareen aiheuttaen korkeasta lämmöstä johtuvia vaurioita.

Edellisessä kappaleessa esitetyn perusteella on järkevää pyrkiä kuvaamaan ainakin Pohjois-Suomesta Etelä-Suomeen saapuvat junat. On perusteltua olettaa, että valokaari-ilmiötä esiintyy vuoden mittakaavassa enemmän Suomen pohjoisissa osissa kuin eteläisissä, vaikka tästä ei tutkimusta ole.

VR:n kanssa käytyjen keskustelujen pohjalta myös virroittimen nostovoiman valvonnalle on kysyntää (Ryypö 2009). Suuri osa Helsingin seudun lähiliikennejunista kulkee Ilmalan varikon läpi kerran päivässä siivouksen ja muiden toimenpiteiden takia. Tämä takaa suuren kuvattavan kaluston määrän. Asennuksen toteuttaminen siten, että laitteen käyttöön liittyvät vaatimukset muun muassa tutkan toiminnan osalta täyttyvät, voi olla hankalaa käytännössä, sillä alueella on useampia samansuuntaisia raiteita.

6.8 Laitteiston osumatarkkuus

Laitteiston koekäytön aikana pyritään selvittämään laitteen toimivuus Suomen oloissa. Toimivuutta tutkitaan kahden ominaisuuden avulla. Ensimmäisessä pyritään selvittämään analysoinnin kannalta käyttökelpoisten kuvien suhteellinen osuus kaikista otetuista kuvista. Käyttökelpoisena pidetään kuvaa, jossa valotus on tapahtunut siten, että virroitin on selkeästi ja terävästi havaittavissa kuvasta. Tämä edellyttää laukaisumekanismien oikeaa toimintaa. Toisena toimivuuden mittana pidetään tarkkuutta, jolla APMS-järjestelmä analysoi rikkinäiset ja ehjät virroittimet oikein.

APMS-järjestelmän ohjelmistoa on kehitetty Sensysin ja Banverketin välisen projektin puitteissa useamman vuoden ajan. Alkuperäinen Banverketin vaatimus, joka edellytti, että vääriä hälytyksiä aiheuttaa alle 0,1 %:a otetuista kuvista, on osoittautunut liian tiukaksi arvoksi, jos merkittävä osuus viallisista virroittimista halutaan havaita.

Sensys lupaa laitteiston osumatarkkuudeksi eli niin sanotuksi hit rateksi yli 80 %. Tämä 80 % sisältää tapaukset, joissa virroittimesta on saatu selvä kuva ja virroittimen kunnon analyysi on pystytty suorittamaan. Luku ei sisällä mitään informaatiota siitä, onko analyysin lopputulos oikea.

Analyysin lopputulos on parhaassa tapauksessa joko todellinen positiivinen tai negatiivinen. Todellinen positiivinen tarkoittaa tunnistettua vauriota. Todellinen negatiivinen tarkoittaa virroittimen analysointia ehjäksi silloin, kun virroitin on ehjä.

Lopputuloks voi olla myös liikenteenohjausta turhaan kuormittava virheellinen positiivinen tai ajolankavaurion riskiä nostava virheellinen negatiivinen. Virheellisen positiivisen tapauksessa laite antaa ”väärän hälytyksen”, eli ehjä virroitin tulkitaan vaurioituneeksi. Vakavampi tapaus on väärä negatiivinen, eli rikkinäisen virroittimen havaitsematta jääminen.

APMS:n ohjelmiston vanhempi versio kykeni havaitsemaan erään testiaineiston sisältämästä 17 viallisesta virroittimesta yhden. Tällöin myös herkkyys eli väärin positiivisten rajaksi oli asetettu 0.1 %. Kun samat 17 kuvaa viallisesta virroittimesta ajettiin uudemman ohjelmisto version läpi, antoi ohjelmisto seitsemän kertaa varoituksen ”vika havaittu” ja seitsemän kertaa varoituksen ”kuvassa havaittu jotain outoa, tarkista kuva”. Kolme viallista jäi havaitsematta.

Edellä esitetyssä tulee ymmärtää, että uudemmalle ohjelmistolle sallittiin suurempi väärin positiivisten määrä kuin vanhalla ohjelmistolla, mikä selittää myös paremmin sujuneen viallisten virroittimien löytämisen. Suuri sallittu väärin positiivisten havaintojen määrä kuormittaa liikenteenohjausta tarpeettomasti.

Uudemman ohjelmistoversion herkkyys on säädetty 0.5-1 %:n tuntumaan. Sensysin teknisen puolen henkilöiden kanssa käydyissä keskusteluissa tuli ilmi, että he haluaisivat herkkyysarvon kahden ja kolmen prosentin välille. Mitä suuremmaksi herkkyys säädetään, sitä varmemmin vialliset virroittimet havaitaan.

7 TULOSTEN ANALYSOINTI

Laitteiston asennus ja käynnistys tapahtui vuoden 2009 huhtikuun lopulla. Käyttökelpoisia kuvia ryhdyttiin saamaan 12.5. Syynä muutaman viikon viivästykseen käynnistuksen ja käyttökelpoisten kuvien välillä oli ensimmäinen kamera, joka oli mitä ilmeisimmin viallinen. Suuri osa sen ottamista kuvista oli täysin tummia.

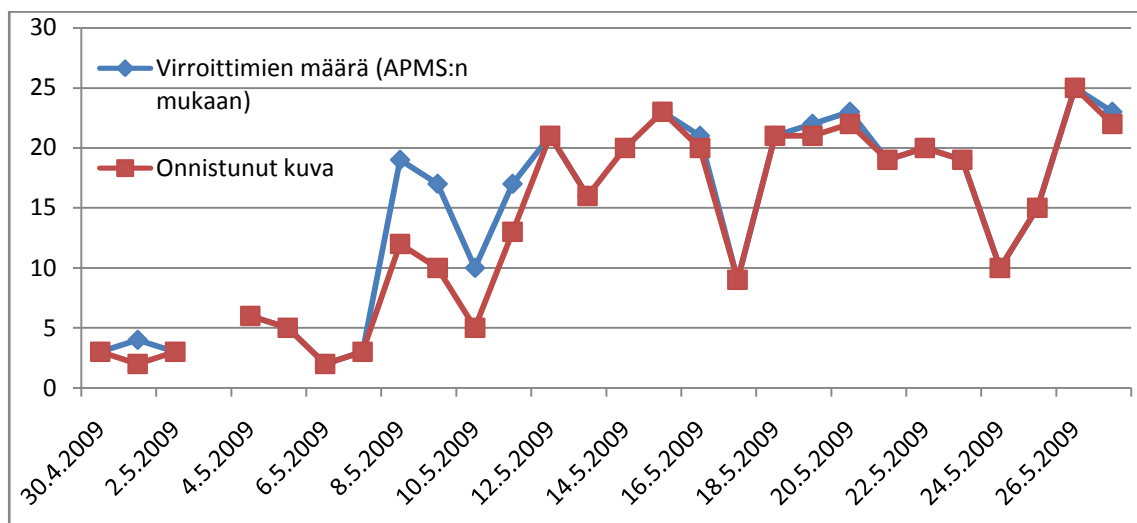
Kamera vaihdettiin uuteen Sensysin toimesta. Tämän uuden kameran antamat kuvat olivat aluksi ylivalottuneita ja hieman epätarkkoja. Sensysin saatua valotuksen kohdilleen ryhdyttiin säätämään kameran antamien kuvien tarkkuutta. Tämä säätö vaati aina huoltohenkilöstön paikanpäälle menemisen, sillä tarkkuus säädetään kameran objektiivin rengasta pyörittämällä. Kuvan laadun säätäminen siten, että analysointiohjelmisto tunnistaa virroittimen kuvasta, on tarkkuutta vaativaa työtä.

Laitteiston antamat kuvat käsiteltiin alkuvaiheessa Sensysin henkilöstön ja työn tekijän toimesta manuaalisesti. Sensysin henkilöstö loi ftp-palvelimelle kansiot, joista toiseen laitettiin ehjät virroittimet ja toiseen epäillyt vauriot. Sensysin henkilöstö kävi kuvat läpi arkisin päivittäin. Myös työn tekijä kävi läpi kaikki ftp-palvelimella olleet kuvat.

On korostettava, että laitteiston testikäytön alkuvaiheessa ei käytetty automaattista vaurion tunnistusta, koska Suomessa on käytössä hieman erilaisia virroittimia kuin Ruotsissa. Laitteiston ohjelmisto piti siis ensin ”opettaa” toimimaan suomalaisen kaluston kanssa.

7.1 Onnistuneiden kuvien määrä kaikista otetuista kuvista

Kuvassa 36 on esitettynä APMS-laitteiston ottamien onnistuneiden kuvien ja kokonaiskuvamäärän kuvaajat. Ensimmäisen reilun viikon aikana kokonaiskuvamäärä on pieni. Tämä selittyy sillä, että Sensys laittoi palvelimelleen vain kuvat, joista sai selvää. Näistäkin kuvista monet olivat liian tummia tai virroitin ei näkynyt kuvassa. Tämä tulos oli odotettu, sillä on ymmärrettävää, että tekninen laitteisto ei välttämättä toimi ”kuin unelma” heti kun sitä ryhdytään viemään uudelle markkina-alueelle, jonka tekninen ympäristö eroaa alkuperämaan toteutuksesta.



Kuva 36: Onnistuneiden kuvien ja kaikkien otettujen kuvien kuvaajat. Kuvan onnistumista arvioitiin silmämääräisesti.

Kuvasta 36 on havaittavissa, että laitteisto ryhtyi toimimaan kunnolla vasta 12.5. tienoilla. Uusi kamera asennettiin perjantaina 8.5. Tämän jälkeen kunnollisten kuvien saamiseen kului vielä neljä päivää, joihin tosin sisältyi viikonloppu.

Kuvassa 36 näkyvä kuvamäärän pudotus 17.5. ja 24.5. selittyy sunnuntailiikenteen vähäisyydellä. Päiväkohtaisesti eniten vaihtelua aiheuttavat tavarajunat, joita epäsäännöllisen aikataulun lisäksi ajetaan välillä kahden veturin vetämänä, siis kahdella virroittimella.

Ajanjaksoa 30.4-12.5 tulee tarkastella tuotekehitysvaiheena. Todellisuudessa virroittimia on havaittu enemmän alkupäivinä kuin kuvaajasta voisi päätellä, mutta ne eivät päätyneet ikinä ftp-palvelimelle.

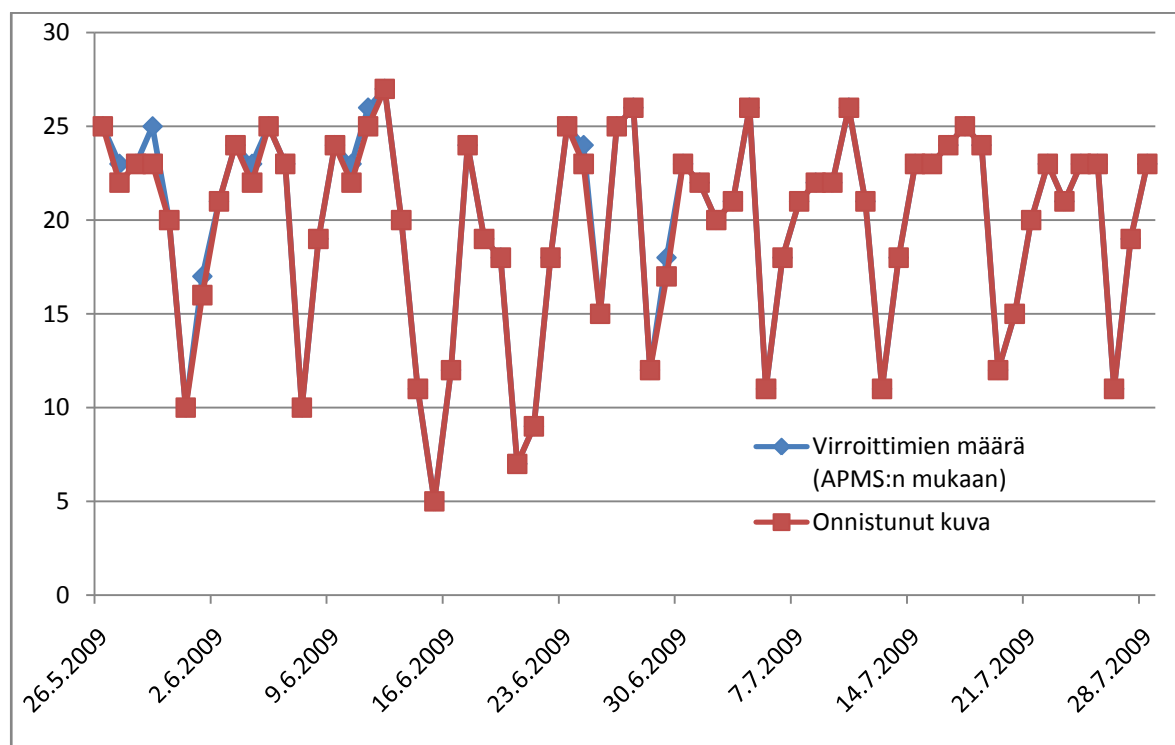
Toukokuun loppupuolelta heinäkuun loppuun olevalla ajanjaksolla APMS-laitteiston ottamien harhalaukausten määrä oli pieni. Harhalaukauksella tarkoitetaan kuvaa, jossa ei esiinny virroitinta. Alkuvaiheessa epäonnistuneita kuvia aiheutti itse laitteiston ”myöhästyminen” kuvan ottamisessa. Projektin edetessä harhalaukauksia aiheuttivat lähinnä korkeat kohteet, kuten vaunun katto tai puukuormasta ”sojottava” oksa. Näitä tapauksia oli vain muutamia. Liitteessä 5 on esitetty korkean vaunun aiheuttama harhalaukaus.

Kuvassa 37 on esitetty ajanjaksolla 26.5.-26.7. APMS-laitteiston havaitsemat virroittimet eli otetut kuvat ja onnistuneiden kuvien määrä. Ajanjaksolla 30.6.-26.7. kaikki kuvat olivat onnistuneita.

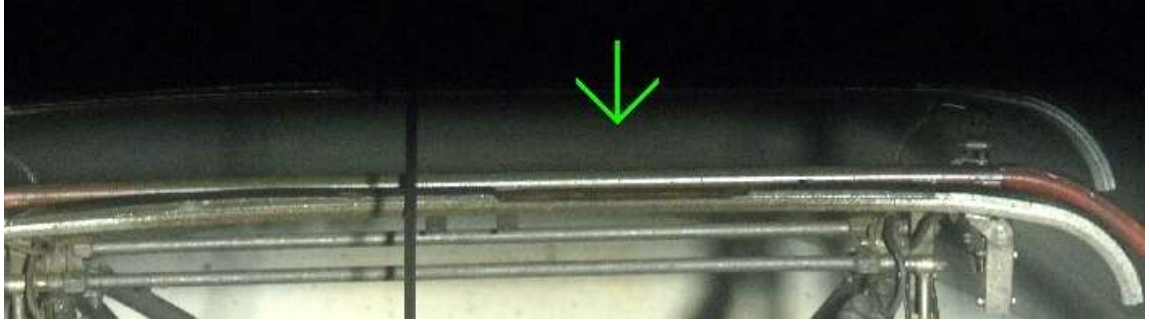
Limingassa kahdella virroittimella kulkeneen kaluston määrän selvittäminen osoittautui oletettua hankalammaksi. VR pystyy toimittamaan tiedon kunkin junan vetureiden määrästä. Vetureiden aktiivisten virroittimien määrää ei kuitenkaan ilmoiteta tai merkitä mihinkään. Samoin sen selvittäminen onko kyseessä diesel- vai sähkövetokalusto, vaatii työtä. Liitteessä 4 on esitetty kahdella Sr1-veturilla vedetty tavarajuna.

Ainut varmasti kahdella virroittimella ajettava juna on perjantai-iltaisin noin klo. 21.15 kuvauspaikan ohittava Pendolino. Ajanjaksolla 8.5.-24.7. tuplavirus jätti kuvaamatta kahdestatoista kerrasta kahdesti. Kysyttäessä asiasta VR:ltä selvisi, että toisessa näistä tapauksista Pendolino oli katkaistu jo Seinäjoella.

Koekäytön aikana havaittiin vaurioitunut Sr1-veturin virroitin. Kyseessä oli kaksinajossa ollut juna. Vaurioituneesta virroittimesta otettu kuva on otettu hieman liian aikaisin, mikä aiheuttaa takimmaisesta yläkaaren jäämisen pois kuvasta. Kyseinen virroitin on esitetty kuvassa 38.



Kuva 37: Ajanjaksolla 26.5-30.7 otettujen kaikkien kuvien ja onnistuneiden kuvien kuvaajat. Kuvien onnistumista arvioitiin silmämääräisesti.



Kuva 38: Vaurioitunut Sr1-veturin virroitin.

Vaurioitunut virroitin oli kuvattu 30.8.09 varhain sunnuntaiaamuna. Hälytys annettiin Sensysin toimesta maanantaiaamuna.

VR:n mukaan vaurioitunut virroitin oli havaittu jo 30.8. Oulussa. Tarpeelliset korjaustoimet oli tehty myös tuolloin. Kuvassa 38 oleva virroitin on ohittanut kameralaitteiston edellisen kerran noin kuukautta ennen vaurion havaitsemista.

7.2 Laitteiston ottamien kuvien vertaaminen toteutuneisiin aikatauluihin

Työssä käytettiin virroittimien lukumäärän selvittämisen apuna laitteiston kuviin liittämän aikaleiman ja RHK:n tuottaman graafisen aikataulun yhdistelmää.

APMS-laitteisto liittää jokaiseen ottamaansa kuvaan kellonajan ja päivämäärän. Kuvatiedoston nimi on muotoa ”liminka__20090801_043449_a.jpg”, missä sanan ”liminka” jälkeen esiintyvä tunniste on muotoa vvvvkkpp-hhmmss. Mikäli samalle kellonajalle on tallentunut kuvat, joiden tiedostonimissä on sekä a- että b-kirjain, on kyseessä kahdella aktiivisella virroittimella kulkenut kalusto.

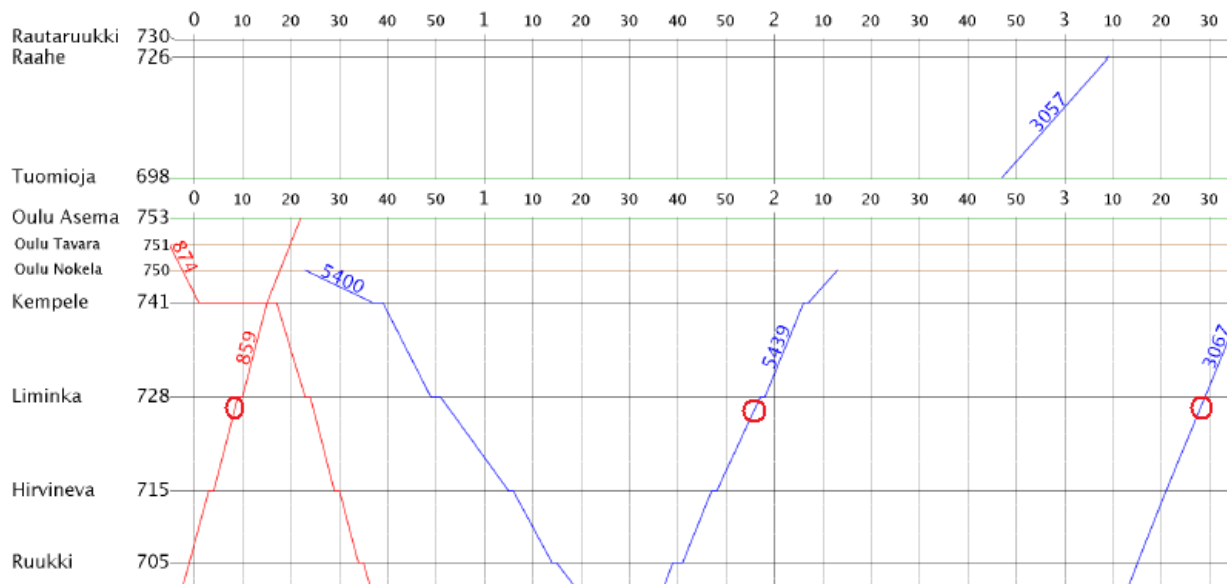
Graafisesta aikataulusta nähdään toteutuneiden junavuorojen kellonaika ja junan numero. Kuvassa 39 on Oulun alueella 1.8. yöllä toteutuneiden junavuorojen graafinen aikataulu. Aikataulusta ei voida päätellä kahdella virroittimella kulkeneen kaluston määrää.



0 - 6

Junapäiväkirja

Oulu-Ylivieska Kauko
01.08.2009 klo. 00:00 alkaen



Kuva 39: Graafinen aikataulu Oulun alueelta. Punaisella ympyröidyt ovat junia, jotka ovat ohittaneet APMS-laitteiston etelästä päin. Kuvassa näkyy osasuurennus graafisesta-aikataulusta.

Kuvan 39 graafisesta-aikataulusta on mahdollista nähdä junien saapumisaika Liminkaan. Laitteisto kuvaa Liminkaan etelästä eli Hirvinevan suunnasta saapuvat junat. Esimerkiksi juna 859 on ohittanut APMS-laitteiston 1.8.2009 noin klo. 00.10. APMS-laitteiston listauksesta löytyy kuvatiedosta, jonka nimi on "liminka_20090801_000934_a.jpg". Kyseinen juna on siis kuvattu.

Käymällä läpi edellä esitetyllä tavalla ajanjaksolla 1.-7.8.2009 otetut kuvat saadaan taulukossa 2 esitetyt tulokset. Kaikki kuvaamatta jääneet junat ovat yhtä poikkeusta lukuun ottamatta tavarajunia. Tavarajunien kuvaamatta jäämistä selittää enimmäkseen se, että ne on ajettu dieselvetureilla.

Taulukko 2: APMS-laitteiston ottamien kuvien määrän ja graafisesta-aikataulusta laskettu junien määrän vertailu.

Päivämäärä	APMS-laitteiston havaitsemat virroittimet	Junien määrä, joita APMS-laitteisto ei ole kuvannut. Osa kalustosta on dieselkäyttöistä, mikä pitää ottaa huomioon virroittimien määrän selvittämisessä	Kuvaamatta jääneiden virroittimien todennäköinen määrä
1.8.	25	1	0
2.8.	11	0	0
3.8.	16	2	2
4.8.	24	2	0
5.8.	25	3	0
6.8.	23	2	2
7.8.	22	5	4
Yhteensä	146	15	8

Selvitettäessä VR:ltä taulukossa 2 olevien kuvaamatta jääneiden junien tyyppiä selvisi, että yksitoista junaa viidestätoista oli dieselkäyttöisiä.

Kuvaamatta jääneet sähköjunat ajettiin kaksinajossa eli kahdella veturilla tai junayksiköllä. On todennäköistä, että kaikki neljä puuttuvaa junaa ovat kulkeneet kahdella virroittimella, joten puuttuneiden virroittimien määräksi saadaan kahdeksan.

Ajanjaksolla 1.8-7.8 kuvattiin 146 virroitinta. Todellinen virroittimien määrä on ollut todennäköisesti 154 virroitinta.

Mikäli virroittimia on ollut 154 kappaletta, ja kahdeksan on jäänyt kuvaamatta, on kuvaamatta jääneiden virroittimien prosenttiosuus $8/154 \cdot 100 \% = 5,2 \%$. Kyseinen prosenttiosuus vastaa työn tekijän näkemyksen mukaan laitteiston virroittimien havaitsemistarkkuutta melko hyvin, sillä APMS-laitteiston viikoittain havaitsemien virroittimien määrä on laajemmalla ajanjaksolla tarkasteltuna melko samankaltainen viikkokohtaisesti, kuten kuvasta 37 käy ilmi.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Työn tavoitteena oli muodostaa käsitys valokuvauslaitteiston soveltuvuudesta sähkövetokaluston virroittimien kunnon tarkkailuun. Kunnon tarkkailu suoritetaan ottamalla valokuva virroittimesta ja analysoimalla sitä joko ohjelmallisesti tai ihmisen toimesta. Virroittimesta otettuja valokuvia käytiin työssä läpi ihmisen toimesta.

Työssä käytiin käsin läpi noin 1900 laitteiston ottamaa valokuvaa. Näiden kuvien onnistumista arvioitiin silmämääräisesti. Onnistuneena kuvana pidettiin kuvaa, jossa virroitin on kuvattuna selkeästi ja sen kunnosta pystytään tekemään arvio.

Koekäytön alkuvaiheessa merkittävä osa kuvista oli käyttökelvottomia. Kuvissa esiintyi pahoja valotusvirheitä ja harhalaukauksia. Koekäytön edetessä laitteiston ottamien onnistuneiden kuvien osuus kasvoi merkittävästi.

Laitteiston ohjelmiston toiminnan arviointi jäi vajavaiseksi ja vaatii lisää työtä. Ohjelmiston kehittäminen käytettäväksi suomalaisen kaluston kanssa toimivaksi vaatii kehitystyötä Sensys Traffik Ab:n toimesta.

Tarkasteltaessa laitteiston kustannuksia siitä saatavaan hyötyyn voidaan useamman kameravalvontalaitteiston hankkimista suositella. Testilaitteiston hinnaksi sisältäen asennus- ja suunnittelukustannukset muodostui noin 100 000 euroa. Kärjistäen voi sanoa, että summa vastaa yhden ajolankavaurion hintaa, jos edes riittää.

Myös työn aikana havaittu Srl-veturin vaurioitunut virroitin puoltaa useamman APMS-laitteiston hankintaa. Kyseinen veturi oli tullut kuvatuksi ennen viallisen virroittimen havaitsemista edellisen kerran noin kuukautta aiemmin. Veturi oli liikkunut lähinnä Etelä- ja Itä-Suomessa.

Laitteiston ottamien kuvien perusteella vaihdettiin useamman veturin tai junan virroittimen kontaktihiilet. Myös operaattori on tyytyväinen laitteiston perusteella tehtyihin ilmoituksiin.

Työn yhtenä tavoitteena oli muodostaa käsitys ADD:llä varustetun virroittimen toiminnasta vaurioitumisen yhteydessä. Banverketin kanssa käydyissä keskusteluissa kävi ilmi, että Ruotsissa on havaittu ADD:llä varustettu virroitin, joka ei ole laskeutunut, vaikka kontaktihiili on vaurioitunut.

Työn aikana tehtyjen vierailuiden aikana syntyi käsitys, jonka mukaan ADD:n toteutustapa vaikuttaa järjestelmän toimintaan hiilen vaurioitumisen yhteydessä. Tätä

tietoa voi pitää oleellisena valvontakameroiden mahdollisia jatkohankintoja pohdittaessa tietäen, että Suomessa on käytössä metalliputkiseen ratkaisuun perustuvia ADD-toteutuksia.

9 JATKOKEHITYSKOhteita

Laitteiston mahdollisesti tulevaisuudessa tarjoama ominaisuus virroittimen nostovoiman tarkkailuun on tärkeä. Virroittimen nostovoiman tulee olla kaluston ollessa paikallaan noin 70 N. Mikäli viallinen virroitin painautuukin ajolankaan esimerkiksi 140 N:n voimalla vetokaluston ollessa paikallaan, aiheutuu tästä vahingoittumisvaara ratajohdolle ja sen kiinnitysrakenteille, kun vetokalusto on liikkeessä ja virroittimeen vaikuttaa staattisen nostovoiman lisäksi ajoviimasta aiheutuva dynaaminen nostovoima.

Mahdollisen seuraavan laitteiston asennuspaikaksi tulee miettiä raidetta, jota pitkin operaattoreiden kalusto kulkee huoltoon. Kaluston nopeuden tulee olla kuitenkin riittävän suuri, mieluiten yli 20 km/h. Laitteiston toimittajalta tulee saada myös varmistus raiteen sopivuudesta. Tällöin vaurioituneet virroittimet voidaan tarkastaa saman tien huollon yhteydessä. Nostovoiman valvonnan saaminen laitteistoon antaa huoltohenkilöstölle mahdollisuuden säätää nostovoima kohdilleen.

Maantieteellisesti asennuspaikaksi tulee harkita Itä- tai Etelä-Suomea. Veturien osalta melko hyvä kattavuus saadaan sijoittamalla laitteistoja Kouvolan länsipuolelle ja Tampereen eteläpuolelle. Lähiliikennejunien valvominen edellyttää laitteistojen asentamista eteläisimpään Suomeen.

Havaittaessa vaurioitunut virroitin operaattori tulee velvoittaa toimittamaan radanpitäjälle kaluston reitti muutaman viikon ajalta ennen vaurion havaitsemista kameralaitteistolla. Tällä pystytään tekemään tarpeen mukaan tarkastuksia kyseisille rataosuuksille ja varmistamaan, että ratajohto on vahingoittumaton.

Laitteiston koekäytön aikana havaittiin, että kaluston tunnistaminen jälkikäteen on hankalaa. Vaihtoehtoa, jossa Sr2-veturin virroittimessa oleviin "kolmioihin" merkittäisiin esimerkiksi maalaamalla kyseisen veturin numero, tulee harkita. Kyseinen ratkaisu ei sovellu muuhun kalustoon, mutta niiden tunnistaminen helpottunee tulevan RFID-järjestelmän (Radio Frequency Identification, radiotaajuinen etätunnistus) myötä.

Mikäli APMS-laitteistoja hankitaan lisää, tulee alueelliset liikenteenohjauskeskukset ohjeistaa kuvin, miten erilaisissa vauriotapauksissa tulee toimia. Ohjeistus tulee laatia liikennöitsijän kanssa yhteistyössä kuunnellen heidän virroitinasiantuntijoitaan. Laitteiston antama hälytys ei sisällä mitään varsinaista numeroarvoa, johon ohjauskeskus voi perustaa päätöksensä jatkotoimista.

Rataverkolla tapahtuvista virroittimen kontaktihiilivaurioista suurin osa on ns. iskemävaurioita. Nämä vauriot aiheutuvat esim. ajolangan ohjaimen päässä olevan

sienitapin katketessa ja ajolangan siirtyessä ohjaimen päälle. APMS-laitteisto ei näytä näiden vaurioiden syytä vaan seurauksen.

Iskemävaurion aiheuttavaa ratajohdon vauriota on vaikeaa havaita liikkuvasta kalustosta. Yleensä ne havaitaan, kun jollakin maantieteellisellä alueella alkaa ilmetä useita kontaktihiiliä, joissa on iskemä samassa kohtaa hiiltä. Tämänkin jälkeen kyseisen vauriopaikan löytäminen voi vaatia runsaasti työtä.

Tällaisten rataverkossa olevien vaurioiden nykyistä helpompaan ja nopeampaan löytämiseen on kysyntää. Työssä aiemmin esitelty EUROPAC-projekti käsittelee kyseistä asiaa mm. kehittämällä virroittimiin asennettavaa instrumentaatiota, jolla voidaan havaita iskemän aiheuttama virroittimen epänormaali värähtely. Tulevaisuudessa tämän kaltainen instrumentaatio voi tarjota lisäarvoa radanpitäjälle ja operaattorille.

Virroittimen ja ajolangan välissä huurrekelillä esiintyvän valokaaren tutkimiseen ei ole olemassa testiympäristöä. Tällaisen testiympäristön rakentamisella lienee kysyntää, sillä valokaaren aiheuttama kontaktihiilien kuluminen on talvisin merkittävin kontaktihiiliä kuluttava tekijä. Suomessa esimerkiksi Laajakankaan koeajorata voi tarjota tulevaisuudessa mielenkiintoisia mahdollisuuksia virroittimien testaamisen kehittämiseen.

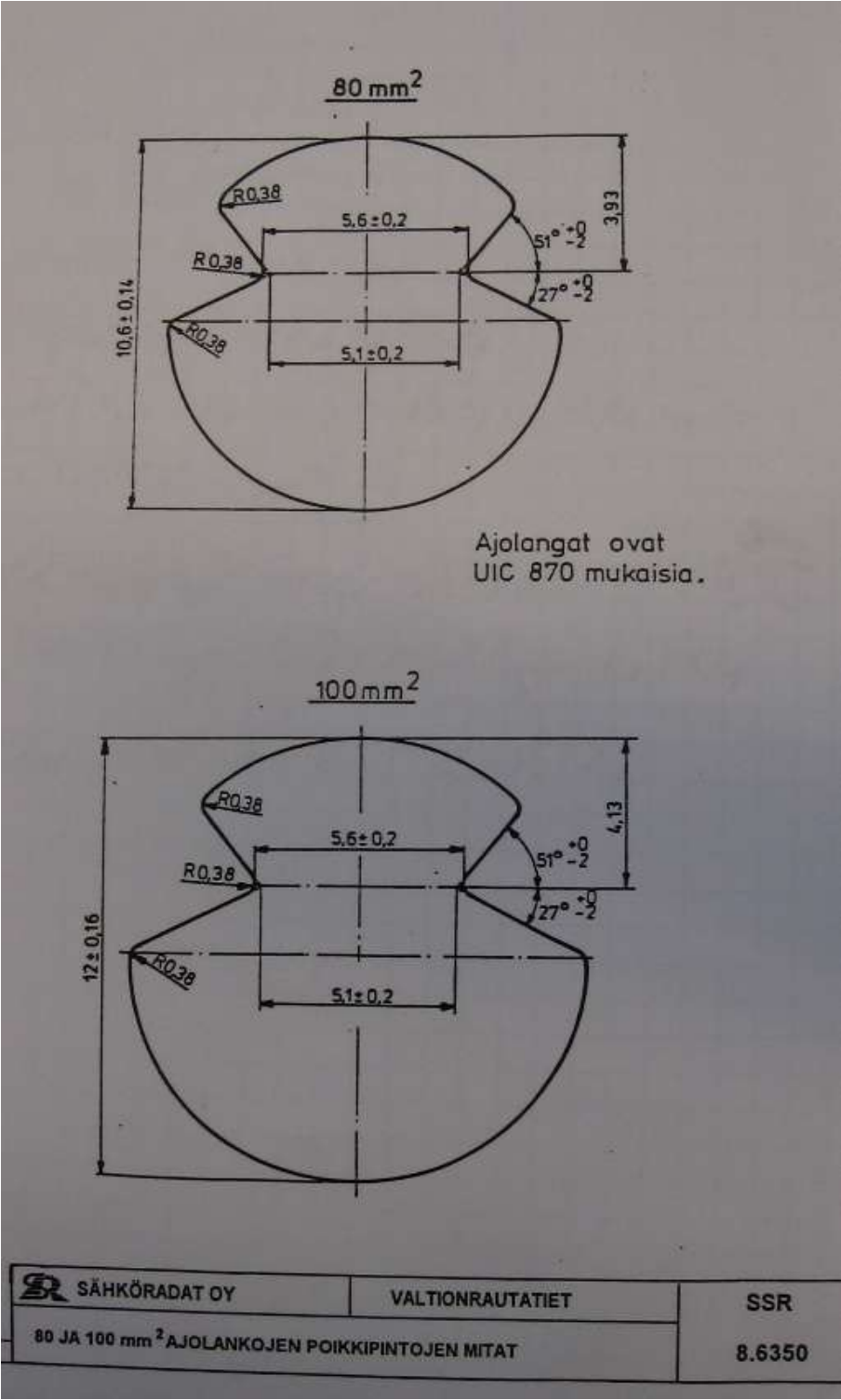
10 LIITTEET

10.1 Liite 1



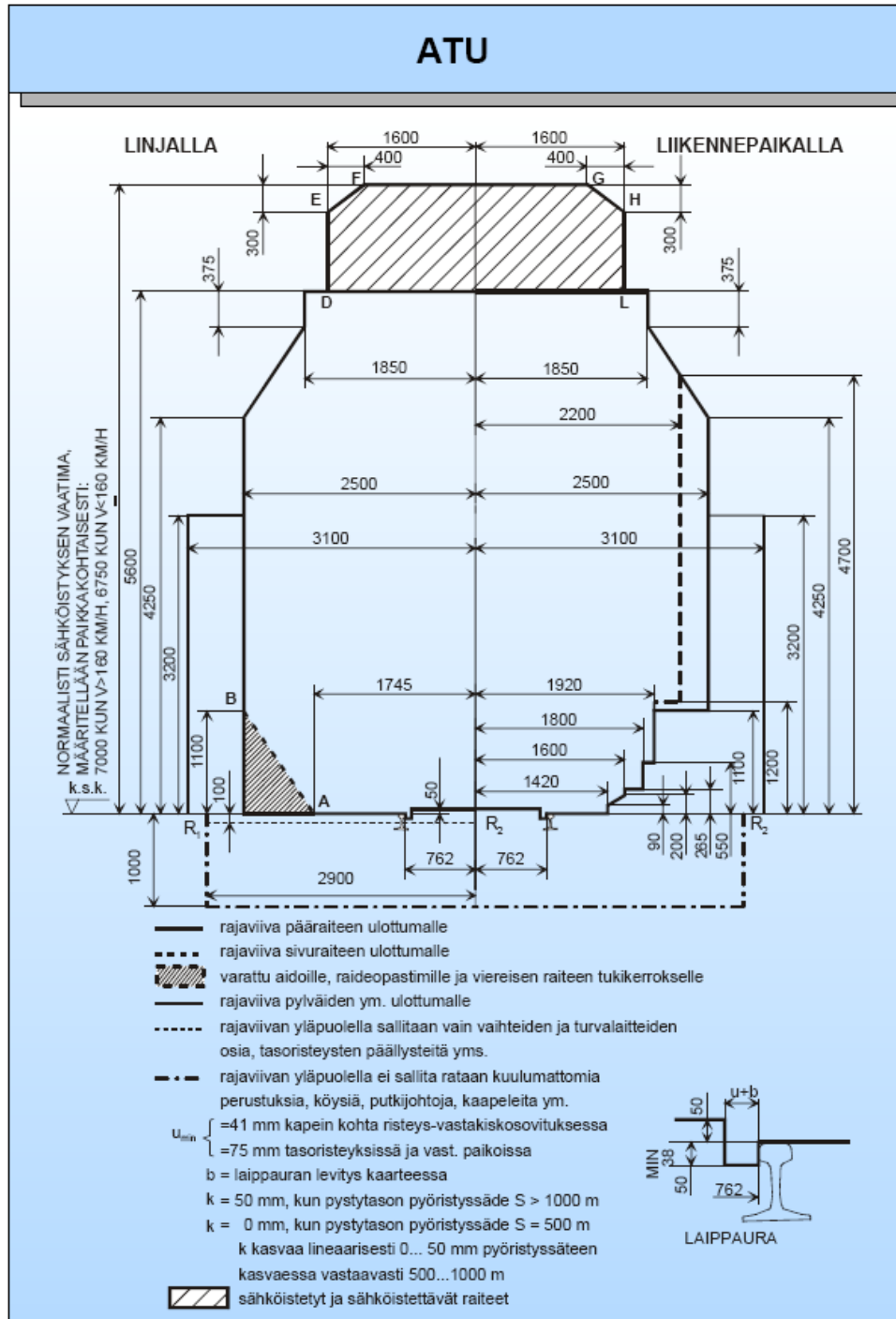
Kuva L1. Limingassa kuvattu kiristyskenttä. Virroitin siirtyy sujuvasti ajolangalta toiselle.

10.2 Liite 2



Kuva L2: 80 mm² ja 100 mm² ajolangan profiilin mitat.

10.3 Liite 3



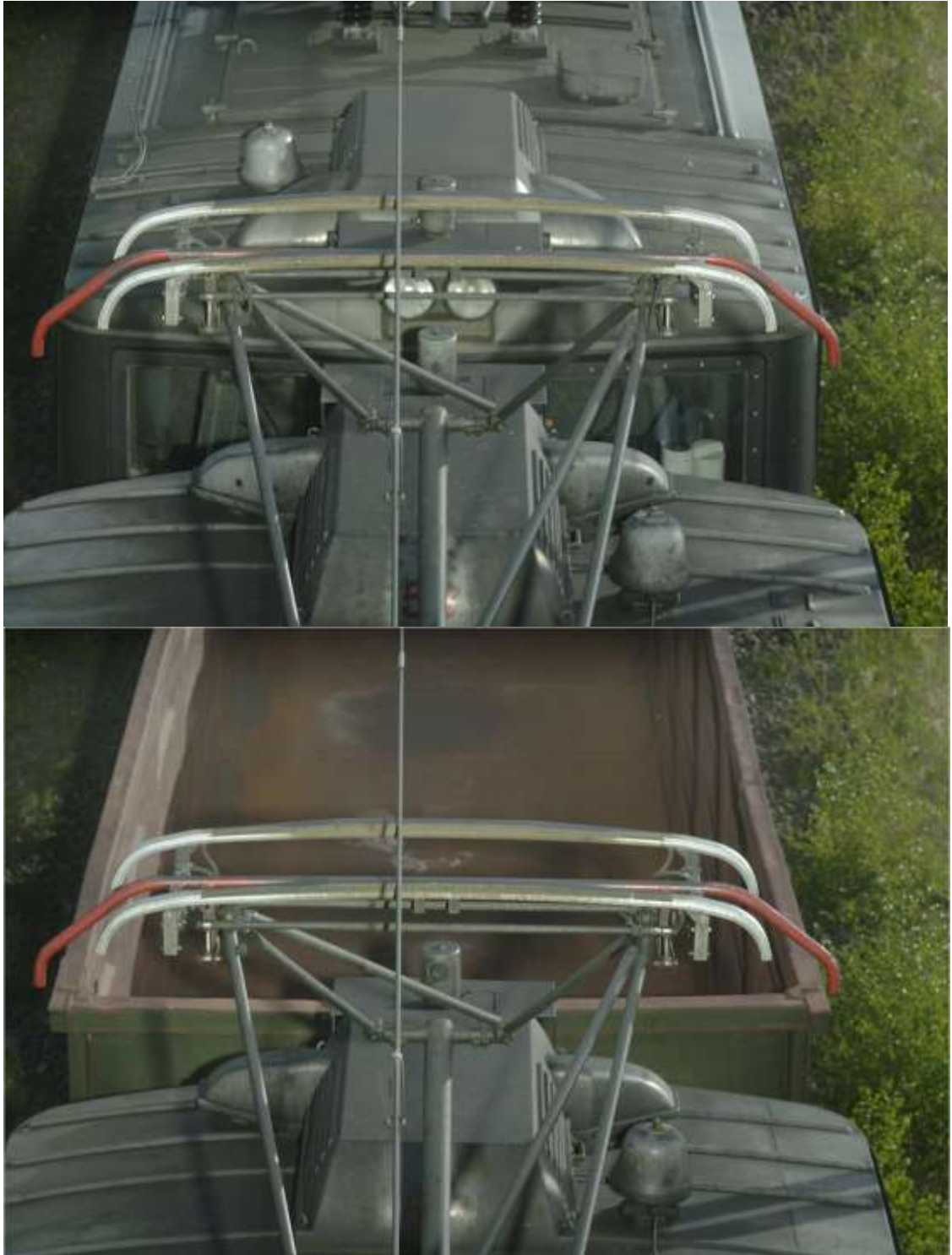
Kuva L3: Aukean tilan ulottuma (Ratahallintokeskus 2006).

10.4 Liite 4



Kuva L4: Korkean junavaunun aiheuttama harhalaukaus.

10.5 Liite 5



Kuva L5: Kahdella veturilla ajanut tavarajuna. Molempien Sr1-veturien virroitimet kuvattiin onnistuneesti. Ylemmässä osakuvassa on etummaisen veturin virroitin.

11 Lähdeluettelo

ABB, *Special Transformers* [ABB:n www-sivu]. Saatavilla:

[http://library.abb.com/global/scot/scot252.nsf/veritydisplay/b8a725b566d4de14c125737100238eed/\\$File/railway%20trafos.pdf](http://library.abb.com/global/scot/scot252.nsf/veritydisplay/b8a725b566d4de14c125737100238eed/$File/railway%20trafos.pdf) [Viitattu 11.11.2008] .

Argillander, Sahlman, Tammisto, Virranottomittaukset Pendolinolla, 2001.

Bormann, D, Surajit, M., Rajeev, T., 2007, *DC components in pantograph arcing: mechanisms and influence of various parameters*, Electromagnetic Compatibility, 2007. EMC Zurich 2007. 18th International Zurich Symposium on , vol., no., pp.369-372, 24-28 Sept. 2007, ISBN: 978-3-9523286-0-6

Buhrkall, L. 2003, *Ice on the Overhead Line of AC Electrified Railways Summary Report From the OHL Ice Team*, OHL Ice Team, Denmark.

Ellis, I. 2006, *Ellis' British Railway Engineering Encyclopaedia*, Lulu, United Kingdom, ISBN: 978-1-84728-643-7.

L.-M. Cléon, A. Bobillot (I&R, A. Collina (Politecnico di Milano, Italy), O. Mohamed (DB Systemtechnik, München, Germany) V. Loverre (Mer Mec, Monopoli, Italy), EURPAC 2005, *Pantograph Catenary: a European Couple*, 7th World Congress on Railway Research, Montreal, Canada.

Gabbott, M.A. 2007, *Catenary and pantographs design and interface*, Austin Court, Birmingham, UK, ISBN: 978-086341-7986.

Giuseppe Bucca, Andrea Collina, *A procedure for the wear prediction of collector strip and contact wire in pantograph-catenary system*, Wear, Volume 266, Issues 1-2, 5 January 2009, Pages 46-59, ISSN 0043-1648

Granlund, M., 2009, *Keskustelua RHK:n tiloissa*, Helsinki.

Hallingberg, P. 2008, *Keskustelua RHK:n tiloissa*, Helsinki.

Lepistö, A., Tiippana, E., Männikkö, J., Ala-Korpela, R., Lähteenmäki, J. & Granlund, M. 2004, 11/1-last update, *Yleisohje johdoista ja kaapeleista Ratahallintokeskuksen alueella* [Ratahallintokeskuksen www-sivu]. Saatavilla: <http://rhk-fi-bin.directo.fi/@Bin/70abf59afc14bd6c367bbc3008706f7f/1232965439/application/pdf/32577/Rhk-b13.pdf> [Viitattu 26.1.2009], ISBN 952-445-108-5.

Midya, S. & Thottappillil, R. 2008, "An overview of electromagnetic compatibility challenges in European Rail Traffic Management System", *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 16, no. 5, pp. 515-534.

O'Donnell, C., Palacin, R. & Rosinski, J. 2006, *Pantograph Damage and Wear Monitoring System*, The IET International Conference on Railway Condition monitoring, 2006, Birmingham, U.K., 29-30 November, 2006, sivut:178 – 181, ISBN: 0-86341-732-9.

Ratahallintokeskus 2003, *Liikkuvankaluston Sähkömääräykset, osa 2.8*, Viranomaismääräys, Suomi, Helsinki.

Ratahallintokeskus 2005, *Ratatekniset määräykset ja ohjeet osa 5, Sähköistetty rata* [Ratahallintokeskuksen [www-sivu](http://www.rhk.fi)]. Saatavilla: <http://rhk-fi-bin.directo.fi/@Bin/541fbb63a93f8c270ba317c0035ebb0d/1231346001/application/pdf/1704849/RAMO%205%20S%C3%A4hk%C3%B6istetty%20rata.pdf> [Viitattu 17.11.2008] .

Ratahallintokeskus 2006, *Sähköratamääräykset, Ratahallintokeskuksen julkaisuja B16*, [Ratahallintokeskuksen [www-sivu](http://www.rhk.fi)]. Saatavilla: <http://rhk-fi-bin.directo.fi/@Bin/cb65576db09fa95f73dbdf1645c4865c/1231347070/application/pdf/32551/Rhk-b16.pdf> [Viitattu 19.11.2008], ISBN 952-445-136-0.

Ratahallintokeskus 2008, , *Rataverkko* [Ratahallintokeskuksen [www-sivu](http://www.rhk.fi)]. Saatavilla: <http://www.rhk.fi/rataverkko/> [Viitattu 1.12.2008].

Ratahallintokeskus 2009a, *Sähköistys* [Ratahallintokeskuksen [www-sivu](http://www.rhk.fi)]. Saatavilla: http://www.rhk.fi/rataverkko/tekniset_tiedot/sahkoistys/ [Viitattu 3.9.2009] .

Ratahallintokeskus 2009b, *Sähkörataohjeet, Ratahallintokeskuksen julkaisuja B 22*, Ratahallintokeskus, Helsinki, ISBN 978-952-445-273-1.

Ryyppö, H. 2009, *Haastattelu, VR*, Helsinki.

Schunk Bahntechnik 2003, 12/2003-last update, *Schunk Report, Entwicklungen und Technologien* [Schunk Bahntechnikin [www-sivu](http://www.schunk-group.com)]. Saatavilla: <http://www.schunk-group.com/sixcms/media.php/1702/10-04e.pdf> [Viitattu 17.9.2009] .

Schunk Kohlenstofftechnik n.a., n.a.-last update [Schunk Kohlenstofftechnikin [www-sivu](http://www.schunk-group.com)]. Saatavilla: http://www.engineersparadise.com/sixcms/media.php/1466/Pros_16_10%20englisch.pdf [Viitattu 23.2.2009] .

Scientific American 2001, , *Cosine Effect* [Scientific American [www-sivu](http://www.sciam.com)]. Saatavilla: <http://www.sciam.com/article.cfm?id=cosine-effect> [Viitattu 25.11.2008].

Sensys Traffic Ab 2008, *17-0173B Systembeskrivning*, Jönköping.

Siemens AG, Transportation Systems, Rail Automation, *Track Vacancy Detection with the FTG S Audio-frequency Track Circuit* [Siemens AG:n [www-sivu](http://www.siemens.com)]. Saatavilla:

http://www.transportation.siemens.com/en/data/pdf/ts_ra/produkte/ds_ftgs_en.pdf [Viitattu 26.2.2009] .

Suuriniemi, S. 2008-2009, *Haastattelut 5.11.2008-31.4.2009*, Helsinki.

Webb, A.G. 2003, *Introduction to Biomedical Imaging*, Wiley-IEEE Press, ISBN: 978-0-471-23766-2.

Östlund, S., Gustafsson, A., Buhrkall, L. & Skoglund, M. 2008, *Condition monitoring of pantograph contact strip*, Railway Condition Monitoring, 2008 4th IET International Conference, Derby, U.K., 18-20 June, 2008, Sivut: 1-6, ISBN: 978-0-86341-927-0.